



REGIONE DEL VENETO
giunta regionale



Direzione Progetto
Venezia



PROVINCIA DI VENEZIA
Servizio Geologico e Difesa del Suolo

INDAGINE IDROGEOLOGICA SULL'AREA DI PORTO MARGHERA (seconda fase)

DGRV n. 4879/99 - DGRV n. 4225/2004 - DGRV n. 3359/2005 - DGRV n. 3615/2005



Responsabile Scientifico

Pietro Zangheri

Responsabile Servizio Geologico e Coordinatrice di Progetto

Valentina Bassan

Gruppo di lavoro

Tiziano Abbà

Luca Basso

Vittorio Bisaglia

Michele Cattelan

Enrico Fagarazzi

Enrico Farinatti

Andrea Mazzuccato

Sandra Primon

Andrea Rosina

Marzo 2009

INDAGINE IDROGEOLOGICA SULL'AREA DI PORTO MARGHERA

(seconda fase)

Marzo 2009

Regione Veneto
Segreteria Regionale Ambiente e Territorio
Direzione Progetto Venezia

Provincia di Venezia
**Assessore al Servizio Geologico e Difesa
del Suolo**
Ezio Da Villa

**Dirigente Settore Protezione Civile e Difesa
del Suolo**
Andrea Vitturi

**Responsabile Servizio Geologico e
coordinatrice progetto**
Valentina Bassan

Responsabile Scientifico
Pietro Zangheri

Gruppo di lavoro

Quadro geologico

Enrico Fagarazzi

informatizzazione dati - profili geologici – ricostruzione
tridimensionale sottosuolo – unità idrostratigrafiche

Sandra Primon

quadro geologico a scala provinciale

Tiziano Abbà

lettura geologica stratigrafie

Vittorio Bisaglia

direzione lavori indagini geologiche di taratura

Quadro idrogeologico

Andrea Rosina

informatizzazione dati GIS - elaborazioni 3D CAD e GIS –
gestione e standardizzazione rilievi idrogeologici

Luca Basso

informatizzazione ed elaborazione dati - rilevamento
idrogeologico e topografico – gestione strumentazione

Direzione Progetto Venezia

Database M.I.S.E. - Opere antropiche interferenti con
l'idrogeologia

Gestione G.I.S.

Andrea Mazzuccato

Geofisica

Enrico Farinatti

Tavolo Tecnico

- ARPAV
- Autorità Portuale di Venezia
- Comune di Venezia
- Consorzio Venezia Nuova
- I.C.R.A.M.
- Magistrato alle Acque
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
- Provincia di Venezia
- Regione Veneto
- Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Geografia

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. SCOPO DEL LAVORO.....	5
3. SINTESI DELLA PRIMA FASE DELL'INDAGINE IDROGEOLOGICA SULL'AREA DI PORTO MARGHERA	7
4. MATERIALI E METODI.....	10
4.1 VOLUME DI INDAGINE.....	10
4.2 FASI OPERATIVE	11
5. GRUPPO DI LAVORO	19
6. BANCHE DATI DEL SERVIZIO GEOLOGICO DELLA PROVINCIA DI VENEZIA 21	
6.1 BANCA DATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE	21
6.1.1 <i>Struttura</i>	21
6.1.2 <i>Descrizione della stratigrafia e codifica litologica</i>	23
6.2 BANCA DATI IDROGEOLOGICA.....	27
6.3 ALTRI DATI GEOREFERENZIATI DA PROVINCIA E REGIONE VENETO	30
7. QUADRO GEOLOGICO	32
7.1 METODOLOGIA.....	32
7.2 IMPLEMENTAZIONE DELLA BANCA DATI STRATIGRAFICA.....	33
7.3 MICRORILIEVO	36
7.3.1 <i>Microrilievo Porto Marghera</i>	37
7.3.2 <i>DTM da dati LIDAR</i>	43
7.4 CARTA DELLA DISTRIBUZIONE DEL RIPOSTO	50
7.5 CARTA DELLA DISTRIBUZIONE DEL CARANTO	53
7.6 CARTA DELLA DISTRIBUZIONE DELLE SABBIE	56
7.7 PROFILI GEOLOGICI.....	64
7.7.1 <i>Scelta delle sezioni e della metodica di elaborazione</i>	64
7.7.2 <i>Descrizione delle sezioni</i>	67
7.8 RICOSTRUZIONE TRIDIMENSIONALE (3D) DELLA STRUTTURA GEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO 77	
7.8.1 <i>Elaborazione tridimensionale del sottosuolo</i>	77
7.8.2 <i>Tetto del primo acquifero significativo</i>	91
7.8.3 <i>Livelli impermeabili sovrastanti il primo acquifero significativo</i>	93
7.8.4 <i>Il primo livello significativo di torba sottostante al caranto</i>	97
7.9 INDAGINI DI APPROFONDIMENTO	100
7.9.1 <i>Indagini geofisiche</i>	100
7.9.2 <i>I nuovi carotaggi dello Studio Idrogeologico di Porto Marghera</i>	104
7.9.3 <i>Datazioni</i>	106
7.10 L'AREA DI PORTO MARGHERA IN RELAZIONE AL MODELLO GEOLOGICO PROVINCIALE – GEOSINPAV.....	113
7.11 SINTESI DEL MODELLO CONCETTUALE GEOLOGICO	115

8.	QUADRO IDROGEOLOGICO	118
8.1	METODOLOGIA.....	118
8.2	IMPLEMENTAZIONE BANCA DATI IDROGEOLOGICA	119
8.3	RICOSTRUZIONE DELLA GEOMETRIA DEGLI ACQUIFERI	120
8.3.1	<i>Sequenze idro-stratigrafiche tipo.....</i>	<i>120</i>
8.3.2	<i>I nuovi carotaggi nella carta delle zonazioni idro-stratigrafiche.....</i>	<i>124</i>
8.3.3	<i>Principali corpi acquiferi e loro collegamenti</i>	<i>127</i>
8.3.4	<i>Quadro idrogeologico semplificato</i>	<i>129</i>
8.4	PARAMETRI IDROGEOLOGICI	132
8.4.1	<i>Metodologia di valutazione.....</i>	<i>132</i>
8.4.2	<i>Valori reperiti</i>	<i>134</i>
8.4.3	<i>Indagini in campo</i>	<i>134</i>
8.4.4	<i>Distribuzione dei parametri in rapporto ai corpi acquiferi.....</i>	<i>136</i>
8.5	PIEZOMETRIA	145
8.5.1	<i>Metodologia</i>	<i>145</i>
8.5.2	<i>Dati pregressi.....</i>	<i>146</i>
8.5.3	<i>Monitoraggio in continuo</i>	<i>146</i>
8.5.4	<i>Analisi dei diagrammi del regime piezometrico</i>	<i>150</i>
8.5.5	<i>Distribuzione della piezometria</i>	<i>180</i>
8.5.6	<i>Gradienti idraulici</i>	<i>195</i>
8.6	QUANTIFICAZIONE DEI FLUSSI IDRICI SOTTERRANEI.....	196
8.6.1	<i>Metodo di valutazione.....</i>	<i>196</i>
8.6.2	<i>Parametri di input.....</i>	<i>197</i>
8.6.3	<i>Risultati delle elaborazioni</i>	<i>198</i>
8.6.4	<i>Altri contributi al flusso idrico sotterraneo</i>	<i>202</i>
8.6.5	<i>Confronto con le portate estratte dal sistema.....</i>	<i>202</i>
8.6.6	<i>Velocità media della falda</i>	<i>203</i>
8.7	DISTRIBUZIONE DI ALTRI PARAMETRI (CUNEO SALINO).....	205
8.8	SINTESI DEL MODELLO CONCETTUALE IDROGEOLOGICO	211
9.	PRINCIPALI RICADUTE DELL'INDAGINE IDROGEOLOGICA	213
9.1	L'INDAGINE IDROGEOLOGICA COME STRUMENTO ALLA BASE DELLE SCELTE SUL SIN DI PORTO MARGHERA	213
9.2	EFFETTO DI INTERVENTI A SCALA DI AREA (MARGINAMENTI, RETROMARGINAMENTI ...) SULL'AMBIENTE GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO E LORO VALUTAZIONE AMBIENTALE IN UN'OTTICA COSTI/BENEFICI	213
9.3	ANALISI DELLE CONCENTRAZIONI DI "ORIGINE GEOLOGICA" NELLE ACQUE (FONDO NATURALE) E QUADRO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	213
9.4	PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA A DIVERSA SCALA (CON PARTICOLARE RIFERIMENTO A QUELLI DELLE ACQUE SOTTERRANEE).....	214
9.5	REVISIONE DEL MASTER PLAN PER LA BONIFICA DEI SITI INQUINATI DI PORTO MARGHERA	215
9.6	MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO	215
10.	CONCLUSIONI.....	216

1. PREMESSA

Con D.G.R.V. n. 4879 del 28.12.1999 è stata approvata la realizzazione della "Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera".

La necessità di realizzare questo studio, in un'area di notevole importanza, sia per gli aspetti ambientali che per quelli economico-produttivi, nasce dalla constatazione che: *<<l'area di Porto Marghera è da molti anni oggetto di indagini di carattere geologico ed idrogeologico, anche finalizzate alla conoscenza dello stato di contaminazione del sottosuolo ed alla progettazione di interventi di bonifica di singoli siti inquinati. Tali indagini sono state sempre condotte, tuttavia, al di fuori di un contesto più ampio atto a definire il quadro generale geologico-idrogeologico dell'area e le interconnessioni con le aree adiacenti. Di conseguenza, allo stato attuale delle conoscenze, risulta impossibile valutare il rischio connesso ai singoli siti contaminati poiché manca sia un'analisi globale a livello adeguato dell'assetto del sottosuolo sia la definizione della situazione al contorno e quindi delle modalità di propagazione degli inquinanti>>* (D.G.R.V. 4879/99).

La D.G.R.V. 4879/99 prevedeva che l'indagine fosse svolta in due fasi e che la prima fase contemplasse la stesura di un dettagliato Piano di lavoro per lo svolgimento della seconda fase. La prima fase si è conclusa nel 2002 prevedendo il programma da sviluppare nella seconda fase.

In seguito il piano è stato più volte aggiornato per renderlo aderente alle nuove disponibilità di dati ed a nuove esigenze, mantenendo comunque gli obiettivi delineati dal programma originario, in quanto presupposti indispensabili per la pianificazione e la gestione delle attività sul sito di Porto Marghera.

Con le delibere n. 4225 del 22 dicembre 2004, n. 3359 del 8 novembre 2005 e 3615 del 22 novembre 2005 la Regione Veneto – Direzione Progetto Venezia ha attivato il completamento dello studio incaricando la Provincia di Venezia di coordinare la seconda fase dell'indagine idrogeologica in parola.

Elemento importante da ricordare è che la DGRV 4225/2004, al punto 5, ha altresì previsto di attivare un "Tavolo tecnico" di monitoraggio delle attività di ricerca aperto agli Enti ed alle strutture interessate.

Il Tavolo tecnico ha avuto una funzione importante, nel corso dello svolgimento, in quanto:

- il piano di lavoro generale ed i piani di lavoro periodici sono stati presentati ed approvati dal tavolo tecnico;
- gli stati di avanzamento sono stati presentati ed approvati dal tavolo tecnico;
- i suggerimenti e le osservazioni per migliorare il lavoro hanno avuto una sede ufficiale in cui essere presentati e discussi tra i vari Enti coinvolti.

In seguito ad una serie di incontri del Tavolo Tecnico, era stato richiesto di formulare un programma operativo a completamento dell'Indagine. A questo scopo sono stati svolti numerosi incontri/colloqui con i tecnici degli Enti facenti parte del Tavolo Tecnico stesso.

Il programma operativo è stato presentato nell'ambito del Tavolo Tecnico del 4 ottobre 2006 ed ivi approvato.

Allo scopo di permettere la completa condivisione del lavoro e di migliorare i risultati e le elaborazioni, nel novembre 2008, è stata redatta una prima versione degli elaborati che è stata inviata a tutti gli Enti partecipanti al tavolo tecnico con invito a presentare eventuali suggerimenti e contributi.

Rispetto alla versione presentata nel novembre 2008, il presente documento è completato dai risultati delle "indagini geologiche di taratura", svolte prevalentemente nell'area a monte di Porto Marghera e consistite in 8 sondaggi profondi oltre 30 metri su cui sono stati svolti rilievi di diverso tipo. Sono state inoltre aggiornate alcune elaborazioni idrogeologiche grazie alla disponibilità di nuovi dati (microrilievo, quantificazione degli emungimenti delle acque sotterranee, piezometrie...).

Il lavoro è stato svolto dal Servizio Geologico e Difesa del Suolo della Provincia di Venezia su incarico della Regione Veneto. La Provincia oltre alle risorse messe a disposizione dalla Regione ha impiegato risorse (economiche e di personale) proprie. Il gruppo di lavoro che ha svolto l'indagine ed i componenti del tavolo tecnico sono riportati al capitolo 5. Grazie all'attivazione del Tavolo Tecnico l'indagine risulta quindi già condivisa, sia nella metodologia che nei risultati in tutte le sue fasi, da tutti gli Enti partecipanti al tavolo stesso. I risultati che verranno esposti rappresentano quindi una base conoscitiva condivisa che dovrà svolgere un ruolo fondamentale nella definizione dei futuri interventi su Porto Marghera.

Con questa indagine si va a colmare un'importante lacuna conoscitiva, grazie alla definizione di un modello concettuale della geologia e della idrogeologia del sottosuolo che consente una contestualizzazione dei progetti e delle scelte in essere che si auspica utile sia per gli Enti pubblici con competenze sul Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Porto Marghera, che per le aziende private ed i professionisti che si trovano a progettare interventi su porzioni del sito stesso.

Per gli Enti pubblici si ottiene infatti un quadro di riferimento fondamentale e propedeutico a qualsiasi scelta che coinvolga aree vaste del SIN, ma anche per istruire le diverse pratiche che andranno ad interessare il sito.

Per le aziende ed i professionisti un quadro geologico ed idrogeologico di area vasta è di fondamentale importanza per ricostruire correttamente il modello geologico locale e, più in generale, per una corretta progettazione in termini ambientali e di valutazione costi/benefici.

Si deve precisare che l'indagine è alquanto carente di informazioni relativamente alle aree agricole, in quanto non sono ancora state realizzate le indagini (sondaggi e piezometri) previste per la loro caratterizzazione che, come più volte dichiarato nei vari tavoli tecnici, dovevano confluire nello studio in oggetto, facendone parte integrante (verbale Tavolo Tecnico del 19 dicembre 2007). Una volta disponibili queste indagini il modello concettuale definito potrà quindi essere ulteriormente tarato ed ampliato.

Si osserva infine come questa esperienza svolta dal Servizio Geologico della Provincia di Venezia permetta di disporre di un gruppo di lavoro esperto e qualificato che potrà essere di ausilio nell'affrontare nell'immediato futuro le tematiche relative al futuro dell'area di Porto Marghera.

2. SCOPO DEL LAVORO

Vari documenti ufficiali precedenti hanno definito gli obiettivi del lavoro.

In sintesi, l'indagine idrogeologica si è posta come obiettivo generale la definizione della:

- struttura geologico-stratigrafica *complessiva* del sottosuolo di Porto Marghera;
- struttura idrogeologica *complessiva* e distribuzione dei parametri idrogeologici nelle tre dimensioni;
- dinamica degli acquiferi anche in rapporto alle interferenze antropiche.

Si tratta di temi, in un'area quale quella in esame, di estrema complessità che per essere correttamente affrontati hanno richiesto l'impegno di un folto gruppo di geologi specialisti, per un tempo di oltre 2 anni, che hanno operato su dati esistenti, appositamente informatizzati e standardizzati, e su un gran numero di nuovi dati sperimentali appositamente raccolti in campo.

Il raggiungimento di tali obiettivi è uno strumento indispensabile a diversi livelli. Ciò ha evidenti vantaggi sia per le pubbliche Amministrazioni, sia per i privati che si approcciano alla progettazione di nuovi interventi in quanto:

- rappresenta il modello concettuale geologico ed il modello concettuale idrogeologico del SIN;
- rappresenta la raccolta e sintesi dei dati idrogeologici forniti dalle singole caratterizzazioni ambientali e da altri studi e progetti;
- fornisce un modello interpretativo delle informazioni geologico-stratigrafiche ed idrogeologiche, ad oggi disponibili;
- consente di effettuare le analisi necessarie a valutare l'effetto di nuovi interventi proposti (anche al di fuori dell'ambito di progetto) in un'ottica di costi/benefici e di prevenzione dell'impatto sul sistema geologico. I risultati della indagine idrogeologica e l'esperienza maturata dal relativo gruppo di lavoro permettono di fungere da sistema di "supporto alle decisioni";
- rappresenta l'indispensabile studio propedeutico ed il punto di partenza per la definizione dei valori di fondo naturale (elementi di "origine geologica"), sia per le acque sotterranee che per i terreni;
- approfondisce, per la prima volta, l'investigazione idrogeologica e idrochimica a profondità maggiore di 15 m;
- costituisce la base dati per modellazioni idrogeologiche;
- contribuisce alla costruzione del sistema informativo EIIS¹ per la parte idrogeologico-stratigrafica e per le MISE².

¹ Sistema informativo integrato (EIIS) previsto dal Master Plan per l'area del Sito di Interesse Nazionale di Venezia – Porto Marghera

² Messa In Sicurezza d'Emergenza. All'articolo 2. Definizioni, alla lettera d, del previgente DM 471/99 si precisava, cosa si intende per azioni di Messa in sicurezza d'emergenza, prima fase di un procedimento di bonifica:

d - Messa in sicurezza d'emergenza: "ogni intervento necessario ed urgente per rimuovere le fonti inquinanti, contenere la diffusione degli inquinanti e impedire il contatto con le fonti inquinanti presenti nel sito, in attesa degli interventi di bonifica e ripristino ambientale o degli interventi di messa in sicurezza permanente."

Tale definizione è stata ripresa in modo molto simile dall'attualmente vigente D.Lgs. 152/2006: "ogni intervento immediato o a breve termine, in caso di eventi di contaminazione repentini, atto a contenere la diffusione delle sorgenti primarie di contaminazione, impedirne il contatto con altre matrici presenti nel sito e a rimuoverle in attesa di eventuali ulteriori interventi di bonifica."

Non fa parte degli obiettivi della seconda fase la definizione dello stato qualitativo delle acque sotterranee. L'aspetto chimico-fisico delle acque sotterranee, anche di base (conducibilità elettrica, potenziale redox, pH...), è quindi stato indagato al solo fine di una migliore ricostruzione della dinamica delle acque sotterranee. Il quadro idrogeologico è stato finalizzato anche a successivi approfondimenti relativamente all'analisi delle concentrazioni degli elementi di origine geologica (alluminio, ferro, manganese, arsenico, ammoniaca...), il "fondo naturale" che, come ormai largamente noto e scientificamente dimostrato, sono ampiamente diffusi nelle acque sotterranee della intera Pianura Padana.

3. SINTESI DELLA PRIMA FASE DELL'INDAGINE IDROGEOLOGICA SULL'AREA DI PORTO MARGHERA

Il piano di lavoro per la indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera, approvato con D.G.R.V. 4879/1999, prevedeva una suddivisione in due fasi delle attività.

La prima fase, finanziata con la citata D.G.R.V. 4879/1999, prevedeva una serie di attività finalizzate principalmente alla ricognizione ed alla elaborazione dei dati esistenti, nonché la predisposizione di un piano di lavoro per il completamento delle indagini.

Nella prima fase di indagine si erano quindi raccolti i dati esistenti, verificato il loro grado di attendibilità e curato l'inserimento nelle banche dati (preesistenti) della Provincia di Venezia. Erano inoltre state messe a punto le metodologie di indagine sperimentale da applicare alla seconda fase della indagine.

I risultati comunque non si erano limitati alla mera verifica dei dati ma riportavano una serie di elaborazioni (profili geologici, cartografia del caranto, distribuzione dei parametri idrogeologici...) che già evidenziavano come le schematizzazioni geologiche preesistenti non fossero adeguate a descrivere la complessità sedimentaria dell'area di Porto Marghera. I risultati della prima fase della indagine avevano contribuito sostanzialmente alla redazione del quadro conoscitivo per il "Master Plan delle bonifiche di Porto Marghera".

Si ricorda infine che la prima fase aveva compreso un dettagliato studio della evoluzione geomorfologia, basato sulla analisi delle cartografie storiche e le foto aeree, curato dal gruppo di lavoro del Dipartimento di Geografia (Prof. Aldino Bondesan), che nello stesso periodo stava curando la redazione della Carta Geomorfologica della Provincia di Venezia.

I risultati della prima fase sono sintetizzati da un rapporto tecnico, da una serie di cartografia tematiche, da profili geologici, dallo studio geomorfologico, dalle banche dati e dal piano di lavoro della seconda fase. Tali documenti sono disponibili (in cartaceo e su CD) presso la provincia di Venezia e gli altri Enti compartecipanti alla indagine.

Di seguito si riporta l'indice del rapporto finale della prima fase. Il rapporto era stato curato da Pietro Zangheri (coordinatore), Filippo Cammarata e Federico Zambon.

INDICE DEL RAPPORTO FINALE DELLA PRIMA FASE DELLA INDAGINE IDROGEOLOGICA

Parte a – Scopi, limiti e struttura del lavoro

allegato a.1 - Aggiornamento del programma di lavoro (ottobre 2001)

Parte b - Banche dati georeferenziate

(riferimento: punto 1 della D.G.R.V. 4879/99)

1. Raccolta, organizzazione ed archiviazione dei dati esistenti con particolare riferimento a:

a - indagini geologiche-geognostiche (carotaggi, prove penetrometriche...)

b - dati idrogeologici (misure piezometriche, prove idrogeologiche in pozzo, analisi idrochimiche...)

c - indagini previste nell'ambito dell'accordo per la chimica di Porto Marghera.

b1 Archivio prove geologico-stratigrafico

b2 Archivio prove idrogeologiche

b3 Archivio dei dati relativi: piezometria – gradiente idraulico e direzione di flusso

b4 Archivio analisi chimiche acque di falda (qualità acque sotterranee)

- Tavola b.1 - Prove geognostiche suddivise per profondità**
- Tavola b.2 – Determinazioni sperimentali della permeabilità**
- Tavola b.3 - Determinazioni sperimentali della trasmissività**
- Tavola b.4 - Piezometri contenuti nella banca dati S.I.S. – Comune di Venezia**
- Tavola b.5 - Piezometri contenuti nella banca dati “bonifiche” della Provincia di Venezia – Settore Politiche Ambientali**
- Tavola b.6 - Pozzi con profondità superiore ai 10 metri, contenuti nella banca dati della Indagine idrogeologica del territorio provinciale (Ufficio Difesa del Suolo – Provincia di Venezia)**
- Tavola b.7 - Piezometri con analisi delle acque di falda**

Allegato b.1 - Istruzioni per l'installazione Database LIMS (su CD)

Allegato b.2 - Mappe di distribuzione di alcuni parametri chimici (su CD)

Allegato b.3 - Composti - Elaborazioni statistiche sintetiche dei dati delle analisi chimiche (su CD)

Parte c - Evoluzione geomorfologica

(riferimento: punto 2 della D.G.R.V. 4879/99)

2. Analisi dell'evoluzione morfologica recente dell'area tramite fotointerpretazione ed altre tecniche di remote sensing con l'utilizzo delle carte topografiche storiche e delle strisciate aeree disponibili

Questa parte, redatta a cura del Dott. Aldino Bondesan del Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova, non è riportata nel presente rapporto ma è stata oggetto di un CD precedentemente consegnato alla Provincia di Venezia.

Nella parte e si riportano alcune elaborazioni che integrano i dati geomorfologici con quelli idrogeologici. Altre elaborazioni che integrano l'aspetto geomorfologico con quello idrogeologico, su aree campione, sono in corso di svolgimento e verranno approfondite in seconda fase.

Parte d - Rete di monitoraggio delle acque sotterranee

(riferimento: punti 3-4-6 della D.G.R.V. 4879/99)

3. Verifica e schedatura dei punti di controllo degli acquiferi attualmente esistenti

4. Selezione dei punti di controllo esistenti

6. Progettazione preliminare di una rete di monitoraggio per ciascun acquifero individuato, prima campagna di misura dei livelli piezometrici

Il monitoraggio degli acquiferi dell'area di Porto Marghera: obiettivi

Criteri di progettazione della rete di monitoraggio

Selezione preliminare dei punti di monitoraggio

Tavola d.1 – Preselezione dei piezometri per rete di monitoraggio acque sotterranee

Parte e - Struttura geologica ed idrogeologica: ricostruzione preliminare

Parte f – Principali fonti consultate per l'integrazione degli archivi georeferenziati

(riferimento: punto 5 della D.G.R.V. 4879/99)

5. Ricostruzione preliminare della geometria degli acquiferi e loro caratterizzazione idrogeologica (distribuzione dei parametri idrogeologici nelle tre dimensioni).

Sintesi schematica delle attività svolte

Ricostruzione preliminare della struttura geologica ed idrogeologica

Struttura geologica ed idrogeologica (distribuzione dei parametri nelle tre dimensioni)

Principali fonti consultate per l'integrazione degli archivi georeferenziati

Tavola e.1 – Traccia profili geologici

Tavola e.2 – Analisi preliminare della distribuzione del caranto

PROFILI GEOLOGICI PRELIMINARI

- SEZIONE 1
- SEZIONE 2
- SEZIONE 3
- SEZIONE 4
- SEZIONE 5
- SEZIONE 6
- SEZIONE 7

4. MATERIALI E METODI

Come indicato al capitolo 1, il lavoro è stato svolto sulla base di un piano di lavoro messo a punto al termine della prima fase. Operativamente si sono redatti programmi periodici, a cura del responsabile scientifico (Pietro Zangheri), che hanno dettagliato le attività via via da svolgere (agli atti del Servizio Geologico Provinciale).

I risultati e le attività sono state poi periodicamente presentati al “Tavolo Tecnico” composto dai rappresentanti dei vari Enti, allo scopo sia di permettere una immediata utilizzabilità dei dati sia di raccogliere contributi dai vari componenti.

La metodologia di lavoro si fonda sull'utilizzo integrato di metodologie di analisi geologica ed idrogeologica ed ha coinvolto geologi specialisti (si veda il capitolo 5) di diversi settori (stratigrafia, geologia del quaternario, idrogeologia, G.I.S....).

4.1 Volume di indagine

Il piano di lavoro approvato dalla D.G.R.V. 4879/99 così definiva il volume di indagine:

<< *L'area da indagare, perché il lavoro risulti significativo, dovrà comprendere anche una zona al di fuori dell'area industriale di Porto Marghera definita in base alle caratteristiche idrogeologiche generali (distribuzione degli acquiferi, velocità di deflusso, parametri idrogeologici).*

La profondità di interesse, sulla base delle conoscenze idrogeologiche attualmente disponibili, è limitata a circa 20 metri di profondità (...)>>.

Nella prima fase, l'indagine si era incentrata sull'area di interesse nazionale. Durante lo svolgimento delle attività è emersa la necessità di approfondire le conoscenze fino a profondità di 40-50 m, compatibilmente con la disponibilità di indagini geologiche esistenti e programmabili e nelle aree a monte.

Va precisato che oggetto della indagine idrogeologica sono gli acquiferi, in senso idrogeologico, presenti nel sottosuolo di Porto Marghera. In questa logica non si sono considerate come “falda”, le acque di impregnazione nei materiali di riporto (c.d. “falda nel riporto”) in quanto, alla scala dell'area di indagine, non significative da un punto di vista idrogeologico, poiché privi di continuità ed estremamente variabili nel tempo e nello spazio, sia per caratteristiche di permeabilità che per contenuto d'acqua.

4.2 Fasi operative

Il metodo di lavoro utilizzato si è basato sul programma generale presentato dal Responsabile Scientifico al Tavolo Tecnico che lo ha approvato nella seduta del 4.10.06.

Tale programma generale è poi stato periodicamente dettagliato in programmi operativi del Responsabile Scientifico che hanno tenuto conto anche delle indicazioni del Tavolo Tecnico.

Le fasi operative vengono schematicamente presentate in sequenza logica. Si riportano le principali attività svolte che saranno oggetto della esposizione dettagliata dei successivi capitoli.

Fase 1 - verifica struttura geodatabase

I geodatabase relativi al sottosuolo fanno principalmente riferimento alle strutture, progressivamente aggiornate, in uso da oltre 10 anni presso il Servizio Geologico della Provincia di Venezia. Si tratta della banca dati dove erano già stati inseriti e standardizzati i dati relativi alla prima fase.

La struttura dei database è stata appositamente aggiornata per rispondere alla esigenze di archiviare ed elaborare i dati del presente lavoro.

Schematicamente si fa riferimento a due geodatabase:

- "geologico-stratigrafico", realizzato in coordinamento con la Regione Veneto nell'ambito del progetto CARG (progetto della nuova cartografia geologica a scala nazionale) e standard regionale;
- "idrogeologico" realizzato inizialmente nell'ambito della "Indagine idrogeologica del territorio provinciale" e successivamente aggiornato con numerosi progetti che hanno coinvolto altre Istituzioni (Università di Padova, AATO Laguna di Venezia).

Per quanto riguarda invece i database relativi alle attività di bonifica di interesse ai fini della indagine idrogeologica (marginamenti, emungimenti,...) sono stati realizzati da ARPAV e Regione caricando i dati comunicati dalle Ditte alla Regione su un foglio elettronico ed ubicando attraverso un GIS le opere di messa in sicurezza e di bonifica.

Verifica struttura geodatabase sottosuolo (geologici-idrogeologici)

<i>Attività previste dal piano di lavoro</i>	<i>Principali attività realizzate</i>
Verifica struttura geodatabase ed eventuale integrazione in rapporto alle finalità specifiche della "Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera" Verifica delle modalità di interscambio con altre banche dati di enti coinvolti nel "Tavolo tecnico"	Aggiornamento della struttura e delle modalità di interscambio

Messa a punto di un database ubicazione aziende, interventi di bonifica di interesse per la indagine idrogeologica (emungimenti, marginamenti, dreni...)

<i>Attività previste dal piano di lavoro</i>	<i>Principali attività realizzate</i>
Costruzione o verifica struttura geodatabase ed eventuale integrazione in rapporto alle finalità specifiche della "Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera"	Predisposizione di un foglio elettronico Excel con relative ubicazioni in formato shape file da parte della Regione Veneto

Fase 2 - Aggiornamento dati geologico-stratigrafici ed idrogeologici esistenti

La fase è finalizzata ad integrare a livello di contenuto le banche dati necessarie a ricostruire il quadro idrogeologico di Porto Marghera.

Aggiornamento banca dati geologico-stratigrafica

<i>Attività previste dal piano di lavoro</i>	<i>Principali attività realizzate</i>
Importazione da banche dati esistenti Estrazione ed informatizzazione dati geologico-stratigrafici non disponibili informatizzati (piani della caratterizzazione, progetti...)	Sono stati raccolti i dati stratigrafici ed idrogeologici ricavati dalle indagini ambientali per le caratterizzazioni delle aree interne al SIN di Porto Marghera. Tale lavoro si è concentrato nel primo anno di lavoro ma nel corso del secondo anno sono state raccolte e visionate direttamente anche nuove stratigrafie realizzate o in corso di realizzazione principalmente da parte del MAV o dell'Autorità Portuale a supporto della messa in opera dei marginamenti. Tale attività ha impiegato diversi geologi della Amministrazione Provinciale. Aggiornamenti vengono tutt'ora eseguiti. Sono stati inseriti 4000 nuove stratigrafie (vedasi nelle parti successive la cartografia con tutti i punti di indagine geologica acquisiti).

Aggiornamento banca dati idrogeologica

Attività previste dal piano di lavoro	Principali attività realizzate
<p>Importazione da banche dati esistenti Estrazione ed informatizzazione dati geologico-stratigrafici non disponibili in formato digitale (piani della caratterizzazione, progetti, indagini idrogeologiche a livello di macroisole...) Verifica delle informazioni idrogeologiche esistenti sul tratto di laguna compreso nel sito di interesse nazionale Raccolta cartografie piezometriche esistenti, a scala di macroisole e valutazione della loro significatività</p>	<p>E' stato aggiornato il database con i dati relativi ai piezometri costruiti soprattutto nell'ambito dei piani di caratterizzazione. Qualora presenti, sono stati inseriti nel DB anche i valori dei parametri idrogeologici e di alcuni parametri chimico-fisici. Venivano così raccolti dati relativi alla permeabilità degli acquiferi ricavati da prove Lefranc, prove di portata o slug test, valori di conducibilità, pH, Eh ecc., particolarmente utili nel corso delle elaborazioni conclusive. Si sono inserite circa 2000 anagrafiche piezometri e circa 400 valori di parametri idrogeologici. Sono stati analizzati alcuni studi di interesse per l'assetto idrogeologico. In particolare modo si è tenuto conto del modello matematico realizzato dal Magistrato alle Acque è di numerose relazioni che riportano l'andamento delle isopieze all'interno di porzioni di Sito di Interesse Nazionale. Tra questi, per l'ampiezza dell'area indagata si citano: lo SAL delle attività di messa in sicurezza della falda inviato trimestralmente dalle aziende coinsediate all'interno del Petrolchimco, lo studio idrogeologico condotto da VESTA nell'area di Fusina (2005), lo studio realizzato da VESTA – CVR – Thetis – Sinergeo all'interno della prima zona industriale (2005), lo SAL prodotto da Edison nell'area portuale ecc...</p> <p>Nel corso dell'aggiornamento delle Banche Dati è emerso la carenza di informazioni sugli acquiferi profondi al di sotto dei 15 metri di profondità. Questo perché le indagini finalizzate alla caratterizzazione ambientale si limitano al cosiddetto "primo acquifero". Per tale motivo è stato richiesto ad alcune aziende, che ancora non avevano realizzato le indagini di caratterizzazione, di realizzare alcuni piezometri anche a profondità maggiori con lo scopo di ottenere informazioni di carattere esclusivamente idrogeologico. Pertanto, nel corso della Segreteria Tecnica del 23/04/2007, è stato presentato dal Prof. Geol. Pietro Zangheri, responsabile scientifico, il documento: "<i>Piano di lavoro per l'adeguamento delle conoscenze idrogeologiche al di sotto dei 15 metri di profondità</i>". Tale documento riporta, nelle planimetrie allegate, i punti dove devono essere realizzati i piezometri più profondi. La scelta del loro posizionamento è stata fatta su criteri di tipo idrogeologico e, ad oggi, tale documento è l'unico riferimento per individuare le proprietà dove devono essere realizzati piezometri a profondità superiore ai 15 metri.</p>

Aggiornamento banca dati ubicazione aziende, interventi di bonifica di interesse per l'indagine idrogeologica (emungimenti, marginamenti, dreni...)

<i>Attività previste dal piano di lavoro</i>	<i>Principali attività realizzate</i>
Ricognizione opere con effetto di modifica del flusso idrogeologico (emungimenti, marginamenti, dreni...)	Per ottenere in modo rapido dati che dessero indicazioni sull'alterazione del flusso idrogeologico a seguito delle attività di messa in sicurezza di emergenza, sono state richieste alle aziende, che hanno avviato le attività di MISE della falda ai sensi della DGRV 4552/2004, di comunicare mensilmente il valore di alcuni parametri aggiuntivi a quelli già previsti dalla delibera Tali informazioni sono state raccolte all'interno di un file Excel e vengono aggiornate ogni mese. Le informazioni relative ai marginamenti vengono forniti dal Magistrato alle Acque attraverso gli stati di avanzamento lavori inviati periodicamente alla Direzione Progetto Venezia della Regione Veneto. Tali informazioni vengono inserite all'interno della Banca Dati a disposizione presso la Direzione.

Fase 3 - Taratura ed integrazione dati

Lo studio ha comportato l'esecuzione di numerose indagini sperimentali in particolare per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico:

- verifiche su piezometri
- misure piezometriche
- logs con sonda multiparametrica
- misure di permeabilità (slug test)
- monitoraggi in continuo con sonde multiparametriche e sonde di livello
- livellazioni topografiche
- tomografie elettriche
- esecuzione di carotaggi continui con campionamenti per analisi specialistiche e realizzazione piezometri
- ...

Anche la fase relativa al quadro geologico si è basata su apposite indagini in sito, consistite nella lettura da parte di geologi specializzati in campo sedimentologico della stratigrafia di carote esistenti o in corso di estrazione (messe a disposizione dal Magistrato alle Acque tramite il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova, dall'Autorità Portuale e da ditte private).

Sono state realizzate, indagini in situ a 30-50 m di profondità tramite carotaggi continui, con messa in opera di piezometri opportunamente filtrati e prelievo di campioni sui quali effettuare analisi specialistiche.

Taratura dati geologico-stratigrafici

<i>Attività previste dal piano di lavoro</i>	<i>Principali attività realizzate</i>
<p>Rilievi su sondaggi geologico-stratigrafici in corso, con particolare riferimento a quelli che raggiungono profondità considerate di competenza della "seconda falda"</p> <p>Rilievo su "cassette" di sondaggi geologico-stratigrafici esistenti</p> <p>Programmazione ed esecuzione di eventuali carotaggi in specifiche aree</p> <p>Programmazione ed esecuzione eventuali prospezioni geologiche indirette (ad es.: tomografia elettrica) su aree test</p> <p>Definizione ed esecuzione di eventuali analisi integrative (ad es. sedimentologiche, mineralogiche...)</p>	<p>Le attività di lettura delle stratigrafie da carote relative a sondaggi in corso o correttamente conservate sono state svolte su molti carotaggi.</p> <p>Sono state eseguite indagini geofisiche (tomografie elettriche) lungo un profilo Nord-Sud nell'area a monte della zona industriale. Le datazioni con il metodo del carbonio 14 riguardano una decina di campioni torba.</p> <p>Indagini geologiche di "taratura" sono state eseguite grazie alla perforazione di 8 carotaggi profondi tra i 30 e i 50 m.</p>

Programmazione ed esecuzione rilievi idrogeologici - determinazione dei parametri idrogeologici - Ricostruzione del campo di moto degli acquiferi

<i>Attività previste dal piano di lavoro</i>	<i>Principali attività realizzate</i>
<p>Definizione delle metodiche applicabili per la determinazione dei parametri idrogeologici sulla base delle specifiche redatte in prima fase e dei nuovi dati esistenti</p> <p>Aggiornamento delle specifiche della strumentazione prevista nella prima fase dell'Indagine</p> <p>Definizione dei punti su cui eseguire prove idrogeologiche finalizzate alla determinazione dei parametri idrogeologici</p> <p>Selezione punti per misure piezometriche;</p> <p>Livellazioni topografiche con strumentazione GPS</p> <p>Programmazione di campagne di monitoraggio piezometrico a scala di macroarea</p> <p>Esecuzione di test idrogeologici e di campagne coordinate di monitoraggio piezometrico e di eventuali livellazioni topografiche</p> <p>Interpretazione ed informatizzazione dati (determinazione parametri idrogeologici)</p>	<p>carta del microrilievo (aggiornato con dati rilevati tramite laser scanner)</p> <p>carta della distribuzione del caranto</p> <p>carta dello spessore del riporto</p> <p>carte delle percentuali delle sabbie a varie profondità</p> <p>carta dell'isobata del tetto e del letto dei principali corpi acquiferi</p> <p>elaborazione cartografica dei livelli impermeabili sovrastanti il primo acquifero significativo</p> <p>Nr. 20 sezioni stratigrafiche seriate di ca. 6 km ciascuna, di cui 10 orientate ca. N-S e 10 ca. W-E</p> <p>classificazione delle singole stratigrafie secondo sequenze stratigrafiche tipo</p> <p>carta delle unità idro-stratigrafiche</p> <p>modello idrostratigrafico tridimensionale</p> <p>verifica dei profili geologici in rapporto al quadro geologico a monte (GEOSINPAV)</p> <p>zonazione secondo sequenze stratigrafiche tipo (unità)</p> <p>elaborazione tridimensionale dei profili geologici e dei 4 principali corpi sabbiosi</p> <p>elaborazioni tridimensionali visualizzabili tramite apposito plug-in e via internet</p> <p>definizione di punti di indagine di taratura ed integrativa carotaggi continui a profondità superiori ai 30 metri, completati a piezometro.</p>

Fase 4 - Ricostruzione quadro idrogeologico

L'ultima fase del lavoro deve portare alla definizione del quadro idrogeologico complessivo. E' prevista la definizione, nelle tre dimensioni, dei parametri necessari come input anche nei modelli matematici di flusso.

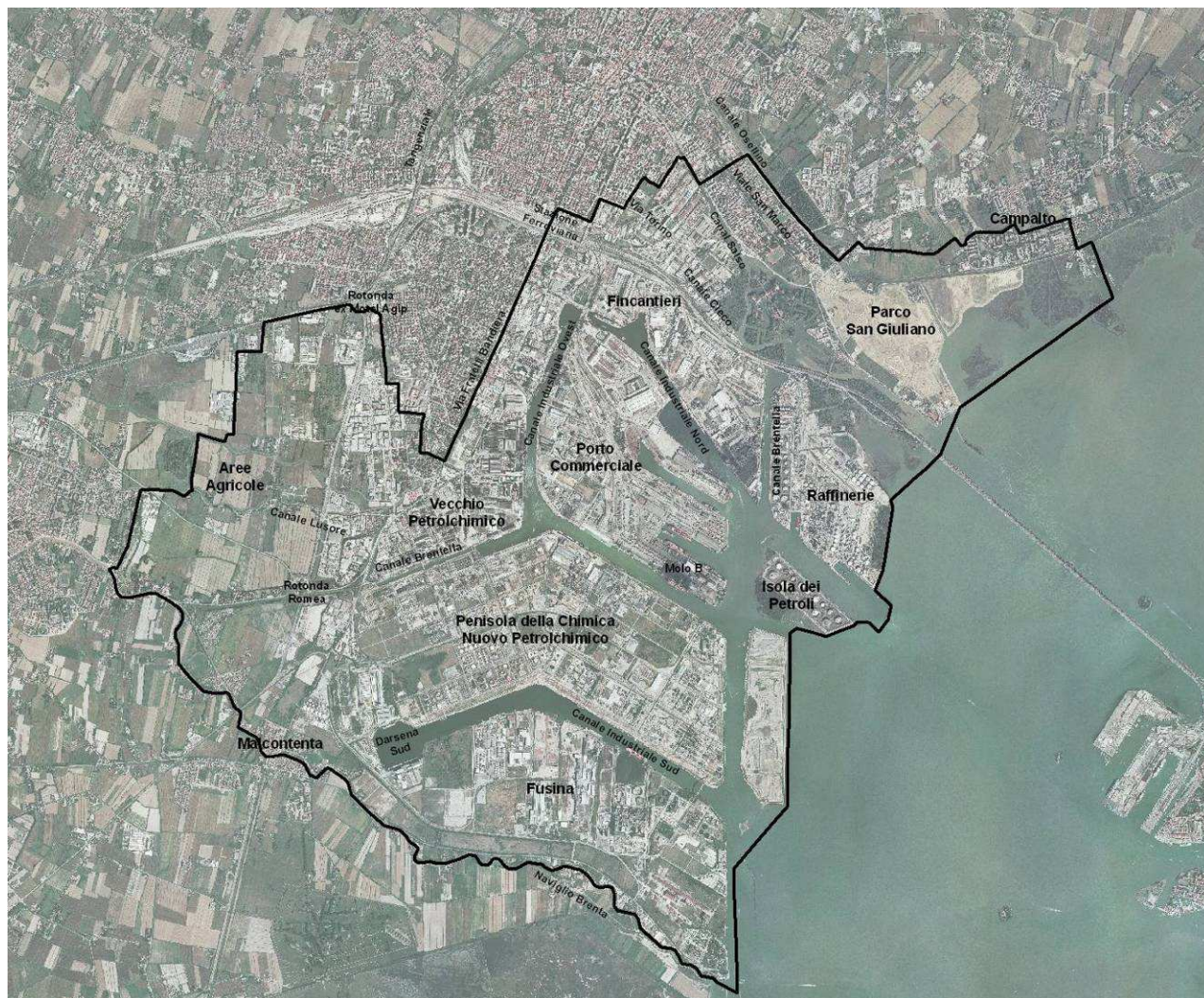
Sintesi finale delle indagini con ricostruzione del modello idrogeologico del sottosuolo e del modello di flusso degli acquiferi studiati

<i>Attività previste dal piano di lavoro</i>	<i>Principali attività realizzate</i>
Ricostruzione della struttura geologica del sottosuolo e sua rappresentazione con profili geologici ed idrogeologici estesi all'intera area di indagine Ricostruzione tridimensionale dei principali corpi acquiferi Definizione della distribuzione dei parametri idrogeologici nelle tre dimensioni Definizione dei flussi alla scala dell'area di interesse nazionale e modello di flusso Estensione del "protocollo operativo" all'aspetto dei parametri idrogeologici	selezione punti a monitoraggio continuo e verifica della efficienza idraulica dei punti selezionati per la rete di monitoraggio esecuzione di 4 stralci di monitoraggio piezometrico in continuo su 4 macroaree procedendo da Sud a Nord esecuzione di una campagna di monitoraggio piezometrico in continuo a scala di SIN esecuzione di test idrogeologici speditivi esecuzione di logs finalizzati alla verifica dei piezometri monitorati con misura di parametri significativi anche per la valutazione delle concentrazioni di "origine geologica" di metalli nelle acque definizione della distribuzione della permeabilità per unità idrostratigrafica definizione di top, bottom e spessore sui profili geologici orientati nord-sud, per il calcolo dello spessore dell'acquifero valutazione della trasmissività dai dati sperimentale, suddivisi per ciascun corpo acquifero carte della distribuzione dei parametri idrogeologici distribuzione dei valori piezometrici e regressioni lineari dei livelli piezometrici monitorati in continuo calcolo degli sfasamenti tra picchi di marea e massimi piezometrici distribuzione dei valori di conducibilità elettrica, da logs in foro, dell'acqua sotterranea cartografie piezometriche calcolo dei flussi idrici sotterranei schemi concettuali dei principali corpi acquiferi

Individuazione di una rete di monitoraggio per ciascun acquifero individuato

<i>Attività previste dal piano di lavoro</i>	<i>Principali attività realizzate</i>
Individuazione punti Selezione punti a monitoraggio continuo e verifica della efficienza idraulica dei punti selezionati per la rete di monitoraggio Definizione modalità di misura	Selezione punti e definizione metodiche per rete di monitoraggio e realizzazione dei monitoraggi iniziati nel mese di maggio 2007 e tutt'ora in corso

Per facilitare la lettura dei capitoli successivi, si riporta la sottostante cartografia con citati i principali toponimi richiamati nei testi.



5. GRUPPO DI LAVORO

Il gruppo di lavoro, secondo le D.G.R. 4225/04, 4533/2004, 3359/2005, 3615/2005 risulta composto da:

- Regione del Veneto, con responsabilità di gestione;
- Provincia di Venezia, a cui è stata affidata la seconda fase dell'indagine idrogeologica con apposite risorse e presso la quale è stata prevista l'attivazione di un contratto a tempo determinato (con laurea in Scienze Geologiche) nonché l'incarico al responsabile scientifico;
- ARPAV, con incarico di eseguire le attività complementari, quali analisi e sviluppo di banche dati, attività tecniche, di monitoraggio e di utilizzo e diffusione delle ricerche e dei relativi risultati anche mediante l'attivazione di due contratti a tempo determinato;
- Coordinatore e Responsabile scientifico, in proseguimento alla prima fase, che opera su incarico della Provincia di Venezia;
- Tavolo Tecnico di raccordo operativo e di monitoraggio delle attività di ricerca aperto agli Enti ed alle Strutture interessate, cui compete altresì la definizione delle modalità di utilizzo e divulgazione dei risultati delle indagini.

Il lavoro presenta sinergie con altri progetti del Servizio Geologico della Provincia di Venezia in particolare "progetto Geosinpav" e "progetto idro", svolti in convenzione con l'Università di Padova (Dipartimento di Geoscienze e Dipartimento di Geografia, con responsabili scientifici rispettivamente il Prof. Aldino Bondesan ed i Proff. Paolo Fabbri e Pietro Zangheri).

Il gruppo di lavoro che ha effettivamente svolto l'indagine è risultato necessariamente molto più ampio, con il coinvolgimento di diversi tecnici che hanno operato a tempo pieno o a tempo parziale sulla indagine. Queste ulteriori ed importanti risorse sono state messe a disposizione dalla Provincia di Venezia tramite il proprio Servizio Geologico.

Nella pagina seguente si riportano i tecnici che hanno contribuito all'indagine con le relative principali attività di competenza.

Responsabile Servizio Geologico e coordinatrice progetto

Valentina Bassan

Responsabile Scientifico

Pietro Zangheri

Specialisti coinvolti nel progetto

Tiziano Abbà

lettura geologica stratigrafie

Vittorio Bisaglia

direzione lavori indagini geologiche di taratura

Luca Basso

informatizzazione ed elaborazione dati - rilevamento idrogeologico e topografico – gestione strumentazione

Michele Cattelan

Database M.I.S.E. - Opere antropiche interferenti con l'idrogeologia

Enrico Fagarazzi

informatizzazione dati - profili geologici – ricostruzione tridimensionale sottosuolo – unità idrostratigrafiche

Enrico Farinatti

Geofisica

Andrea Mazzuccato

Gestione G.I.S.

Sandra Primon

quadro geologico a scala provinciale

Andrea Rosina

informatizzazione dati GIS - elaborazioni 3D CAD e GIS – gestione e standardizzazione rilievi idrogeologici

6. BANCHE DATI DEL SERVIZIO GEOLOGICO DELLA PROVINCIA DI VENEZIA

Da alcuni decenni il Servizio Geologico della Provincia di Venezia, al fine di poter svolgere al meglio le molteplici competenze via via acquisite nel tempo, ha raccolto un numero elevato di informazioni di carattere tecnico e tecnico-amministrativo su supporto spesso cartaceo, a volte digitale. La necessità di riferire tali informazioni al territorio, in vista di un loro immediato utilizzo, continuo aggiornamento, nonché incrocio e confronto attraverso selezioni spaziali ed alfanumeriche, ha guidato la scelta del Servizio Geologico verso una specifica organizzazione d'archivio. Tali informazioni sono quindi strutturate in banche dati informatizzate e georeferenziate e la gestione condotta attraverso opportuni "software gis".

Le principali banche dati gestite dal Servizio Geologico della Provincia di Venezia sono:

- Banca dati delle Cave e Migliorie Fondiarie
- Banca dati delle Osservazioni Pedologiche
- Banca dati delle Indagini Geognostiche
- Banca dati Idrogeologica

Esiste inoltre un nutrito archivio informatico, sotto forma di file .shp, di tematismi (geomorfologia, microrilievo, litologia, pedologia, ecc...) derivanti da vari studi e progetti condotti nel territorio provinciale anche in collaborazione con Università ed Enti di ricerca, sempre disponibili, immediatamente utilizzabili e, quando è il caso, aggiornabili in relazione a nuovi dati e conoscenze. Tali conoscenze hanno consentito, anche nell'ambito di questa indagine, di guidare le scelte programmatiche ed interpretative fornendo un valido punto di appoggio per l'impostazione dell'indagine stessa.

6.1 Banca dati delle indagini geognostiche

6.1.1 Struttura

Nella Banca Dati delle Indagini Geognostiche le informazioni sono strutturate in una serie di tabelle tra loro collegate tramite un codice identificativo univoco che caratterizza ogni singolo punto di indagine; ogni indagine geognostica ha inoltre associate le sue coordinate spaziali secondo un determinato sistema di riferimento (Roma 40 – Gauss Boaga) che ne permette la localizzazione sul territorio. Si tratta quindi di una banca dati georeferenzata.

Le informazioni raccolte in questa banca dati sono di tre tipi:

coordinate spaziali (georeferenziazione):

consistono in una coppia di valori numerici che permettono di ubicare ogni singolo sondaggio in un determinato punto del territorio secondo uno specifico sistema di riferimento cartografico; attualmente viene utilizzato il Sistema di Riferimento "Roma40-Gauss Boaga fuso est".

informazioni sull'origine del dato e sulle caratteristiche dell'indagine stratigrafica:

per quanto riguarda l'origine del dato viene indicato il committente, la ditta esecutrice dell'indagine, la data di esecuzione, lo scopo dell'indagine stessa e il rilevatore che ha effettuato la descrizione della stratigrafia;

inoltre, nel caso l'indagine sia stata acquisita non direttamente dalla Provincia di Venezia, ma ottenuta da un altro Ente viene anche riportato il codice originale e la provenienza del dato.

Per quanto riguarda le caratteristiche della stratigrafia vengono riportate informazioni riguardo alla profondità di indagine, alla quota (m s.l.m.), alla presenza di piezometri, all'intervallo di profondità dei filtri e al livello della falda dal piano campagna.

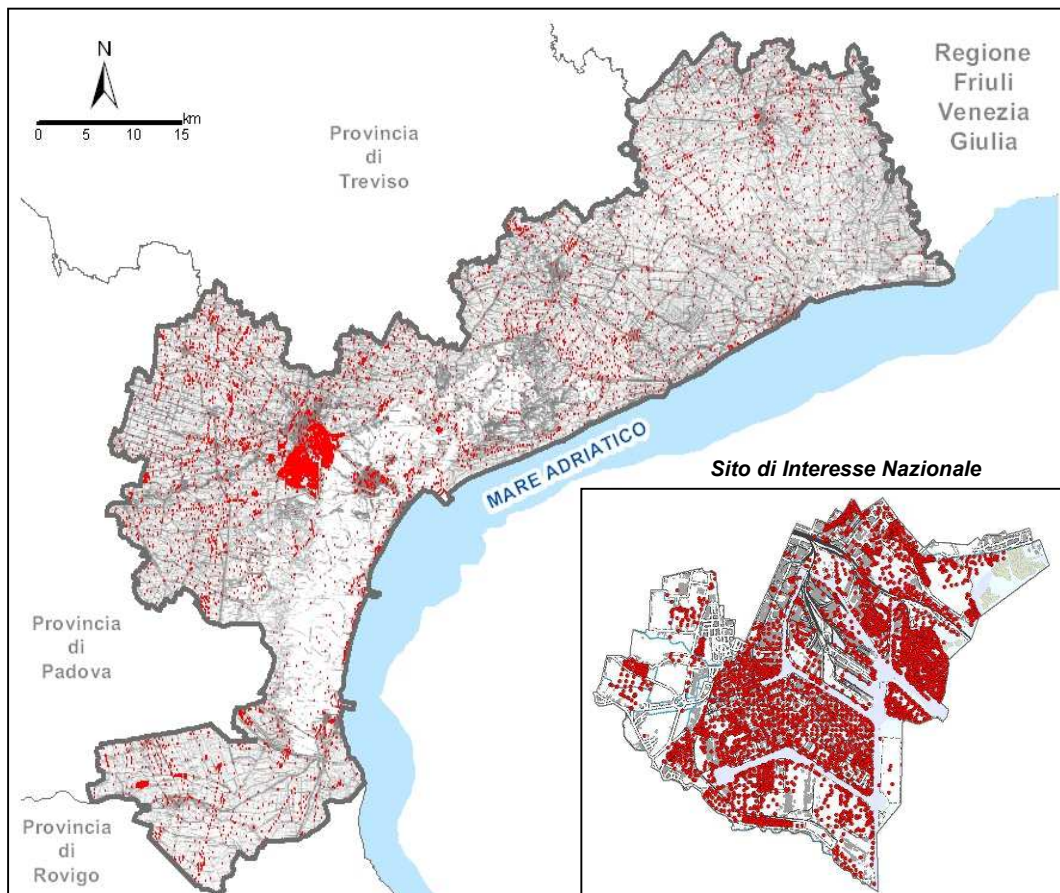
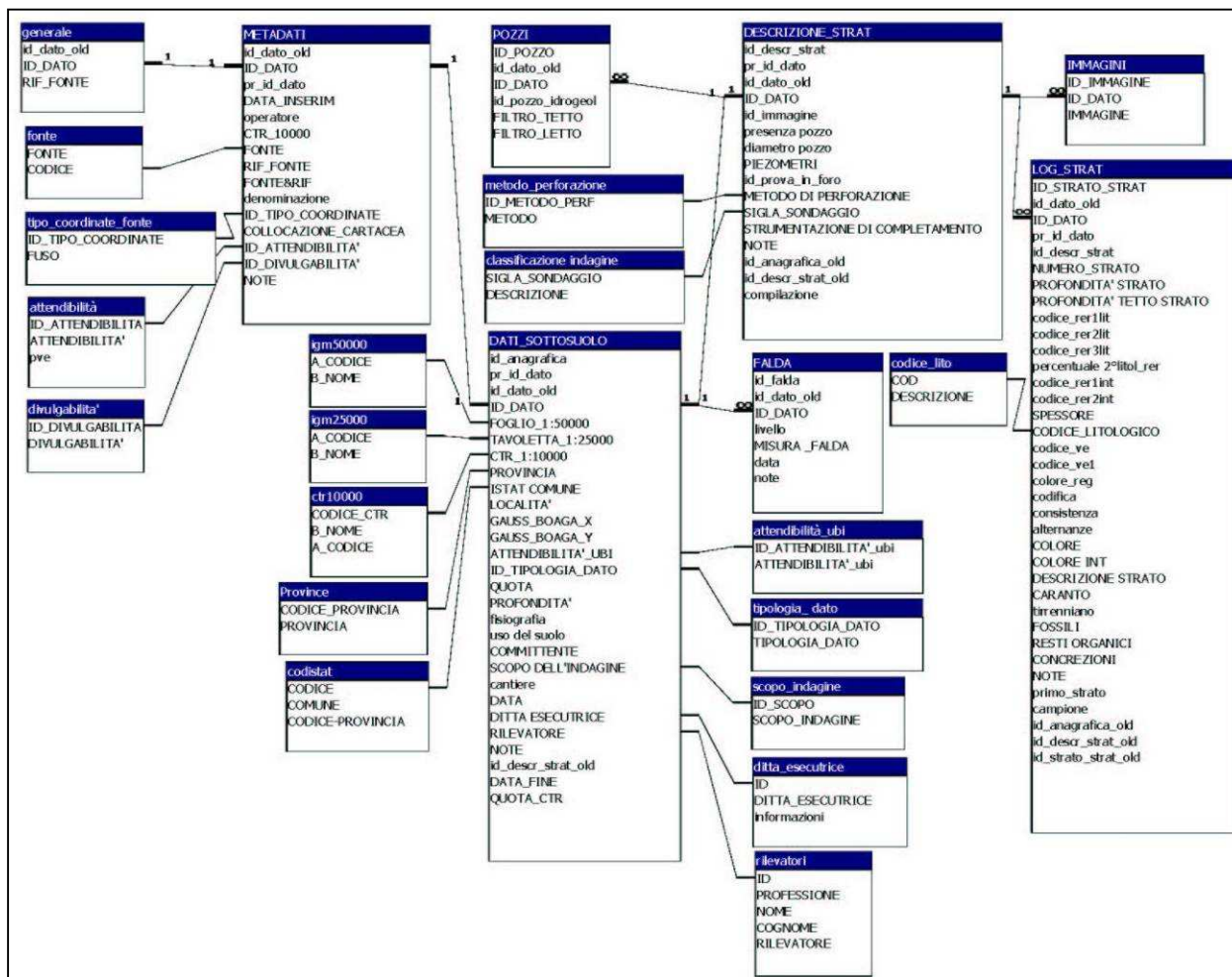


Figura 6.1.1.1 - Ubicazione delle indagini geognostiche in provincia di Venezia e nel Sito di Interesse Nazionale (georeferenziazione).



Le indagini geognostiche sono inoltre suddivise a seconda della tipologia in:

- Indagini geofisiche (sondaggi elettrici verticali e prospezioni sismiche) informatizzate solo relativamente alla georeferenziazione, all'origine del dato e alle caratteristiche dell'indagine;
- prove penetrometriche (statiche e dinamiche) informatizzate solo relativamente alla georeferenziazione, all'origine del dato e alle caratteristiche dell'indagine;
- sondaggi (a carotaggio continuo o a distruzione di nucleo);
- trincee esplorative.

Per tutte le tipologie d'indagine stratigrafica sono state archiviate le schede originali cartacee. Per i sondaggi (corrispondenti al 90% della banca dati) e le trincee si dispone anche della descrizione e della codifica della stratigrafia in banca dati, come illustrato nel paragrafo seguente.

6.1.2 Descrizione della stratigrafia e codifica litologica

In una apposita tabella sono archiviati i dati stratigrafici ricavati dalle perforazioni. Ad ogni sondaggio sono associate quindi delle informazioni che descrivono ogni singolo strato; esse consistono in:

- numero dello strato
- profondità del tetto, del letto e spessore di ogni singolo strato
- descrizione geologico-stratigrafica dello strato
- litotipo prevalente che caratterizza lo strato (codice litologico)
- indicazioni circa la presenza o meno di fossili, resti inorganici, resti vegetali, concrezioni e caranto.

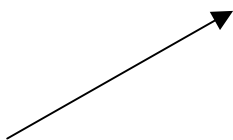
Particolarmente rilevante ai fini delle successive elaborazioni basate sulla banca dati geologico stratigrafia è la metodologia scelta di codifica informatizzata del tipo litologico.

Ad ogni strato viene associato, sulla base della descrizione geologico-stratigrafica, un litotipo (per la standardizzazione dei termini litologici ci si è basati sulle "raccomandazioni" dell'A.G.I. - 1977); ogni litotipo viene identificato in modo univoco da uno specifico codice numerico dato da una combinazione di quattro cifre e al quale viene associato un apposito retino descrittivo colorato (quest'ultimo modificabile in qualsiasi momento). Per facilità di consultazione, nella pagina successiva si riporta sinteticamente la codifica delle raccomandazioni A.G.I. e le principali altre codifiche in uso in campo geologico.

La metodologia, originariamente messa a punto per la carta della vulnerabilità degli acquiferi della Provincia di Venezia, viene illustrata dallo schema riportato nella pagina successiva.

Si sottolinea un elemento particolarmente significativo di questa scelta metodologica: i singoli strati sono archiviati in banca dati senza prevedere schematizzazioni e/o semplificazioni preventive, in quanto il codice è correlato alla percentuale dei termini litologici presenti. I dati dei singoli strati possono essere successivamente oggetto di accorpamenti e/o semplificazioni a fini di elaborazione senza intaccare la banca dati originale.

codice litologico



consiste in un codice a 4 cifre nel quale:

- 1a cifra: litologia principale (1-2-3-4-5-6)
1=argilla 2=limo 3=sabbia 4=ghiaia 5=ciottoli 6=torba
- 2a cifra: % litologia principale (0-1-2-3-4)
0=50% 1=50-75 2=75%-90% 3=90%-95% 4=100%
- 3a cifra: litologia secondaria
0=assente 1=argilla 2=limo 3=sabbia 4=ghiaia 5=ciottoli 6=torba
- 4a cifra: litologia terziaria
0=assente 1=argilla 2=limo 3=sabbia 4=ghiaia 5=ciottoli 6=torba

esempi:

argilla = **1400**

argilla debolmente limosa = **1320**

limo sabbioso = **2230**

sabbia e limo = **3020**

argilla limoso sabbiosa = **1023**

Sistemi di classificazione

I principali sistemi di classificazione, basati sulla granulometria delle terre sono:

Sistema	Argilla (mm)	Limo (mm)	Sabbia (mm)	Ghiaia (mm)
MIT (1931)	$>0,002$	$0,002 < > 0,06$	$0,06 < > 2$	$2 < > 60$
AASHO (1970)	$>0,002$	$0,002 < > 0,075$	$0,075 < > 2$	$2 < > 75$
AGI (1977)	$>0,002$	$0,002 < > 0,06$	$0,06 < > 2$	$2 < > 60$
CP 2001 (1957)	$>0,002$	$0,002 < > 0,06$	$0,06 < > 2$	$2 < > 60$

Classificazione A.G.I. (1977)

Elementi di classificazione

	Caratteristiche generali	Denominazione
Terre incoerenti o granulari Granuli visibili a occhio nudo (dimensioni $>0,06$ mm) privi di coesione se essiccati	Elementi lapidei di dimensioni > 2 mm	Ghiaia
	Granuli di dimensioni comprese tra 2 mm e 0,06 mm	Sabbia
Terre coesive Granuli non visibili a occhio nudo (dimensioni $< 0,06$ mm)	Il materiale si secca rapidamente e può essere sbriciolato con le dita; i pezzi essiccati possiedono coesione ma possono essere facilmente polverizzati con le dita.	Limo
	Il materiale è liscio al tatto e plastico: può essere ridotto in cilindretti con le dita ed eventuale aggiunta di acqua; si essicca lentamente; si ritira nell'essicarsi. Essiccato mostra fratture	Argilla

Il vantaggio dell'informatizzazione e in particolare l'utilizzo di litotipi codificati ed associati ad appositi retini, permette, oltre alla realizzazione automatica di report di stampa di ogni singola stratigrafia (ogni variazione nel database risulta anche nelle restituzioni grafiche), anche la realizzazione di sezioni geologiche georeferenziate in cui ogni singola stratigrafia, essendo rappresentata da retini descrittivi colorati, risulta facilmente comprensibile e confrontabile con quelle adiacenti; le sezioni possono inoltre essere confrontate tra loro.

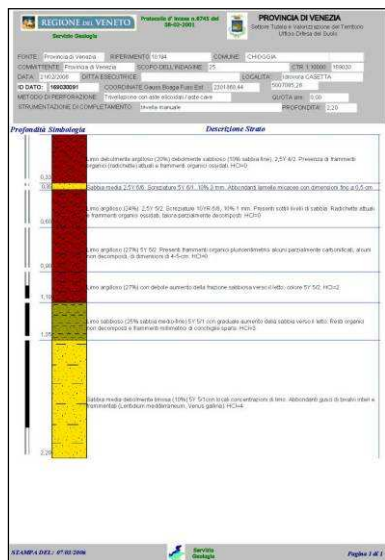


Figura 6.1.2.2 - Report di stampa di una stratigrafia

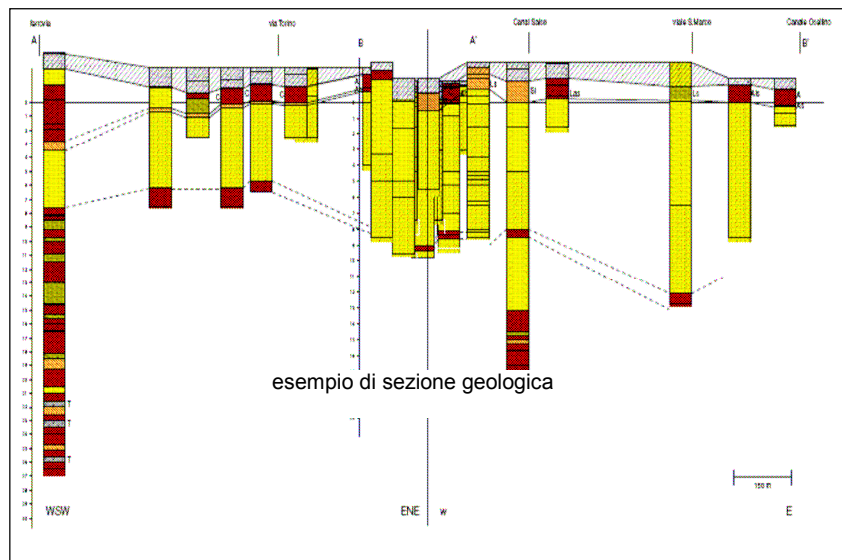


Figura 6.1.2.3 - Esempio di sezione geologica

Inoltre l'informatizzazione dei dati geologico-stratigrafici e l'utilizzo di un opportuno codice numerico che descrive ogni singolo strato permette, attraverso una serie di elaborazioni in parte automatiche, la realizzazione di una serie di mappe tematiche particolarmente significative

6.2 Banca dati idrogeologica

La banca dati idrogeologica è il risultato di un censimento dei pozzi nell'ambito dell'Indagine idrogeologica del territorio provinciale, presenti in provincia di Venezia, avviato agli inizi degli anni '90 e terminato nel 1999³. L'indagine aveva portato all'informatizzazione di circa 3800 punti di prelievo da falde sotterranee e dei relativi attributi riferiti sia ai dati anagrafici, sia alle caratteristiche fisiche dei pozzi, sia ai parametri chimico-fisici delle acque rilevati durante il censimento.

In seguito, con il procedere di altri progetti ("progetto ISES", "Indagine sulle acque sotterranee del portogruarese", "progetto CARG" ecc., collaborazione con l'AATO Laguna di Venezia) si è reso necessario sviluppare la banca dati "pozzi" al fine di raccogliere anche le informazioni relative a piezometri sia profondi, sia superficiali, nonché ad ulteriori campagne di misura, a parametri idrogeologici, etc...

L'esigenza di sviluppare una banca dati idrogeologica, deriva dalla necessità di immagazzinare e gestire all'interno di un unico ambiente un'enorme mole di dati relativi alle risorse idriche sotterranee. Il carattere relazionale della banca dati messa a punto in precedenza ma modificata ad hoc per gli scopi della presente

³ Dal Prà A., Gobbo L., Vitturi A., Zangheri P. (2000) - "Indagine idrogeologica del Territorio Provinciale di Venezia". Provincia di Venezia.

indagine, permette di immagazzinare, gestire e manipolare informazioni provenienti da diverse discipline, al fine di comprendere l'idrogeologia del territorio di interesse nell'ambito della Provincia di Venezia. All'interno della banca dati troviamo informazioni riguardanti piezometri, pozzi ad uso privato, pozzi acquedottistici, oltre ad una serie di tabelle contenenti misurazioni quantitative e qualitative delle acque intercettate dai punti d'indagine. La densità dei dati è molto elevata all'interno del Sito di Interesse Nazionale, proprio per l'implementazione effettuata con i dati relativi ai piezometri derivanti dai piani di caratterizzazione nell'ambito di questo studio ma anche nell'area centro-nord d'interesse di AATO Laguna di Venezia, dove detto Ente, in collaborazione con la Provincia di Venezia ed il Dipartimento di Geologia dell'Università di Padova ha recentemente aggiornato il censimento dei pozzi, spingendosi anche nel territorio trevigiano di propria competenza, svolgendo migliaia di nuove misure su tali pozzi ed implementando notevolmente la banca dati in parola.

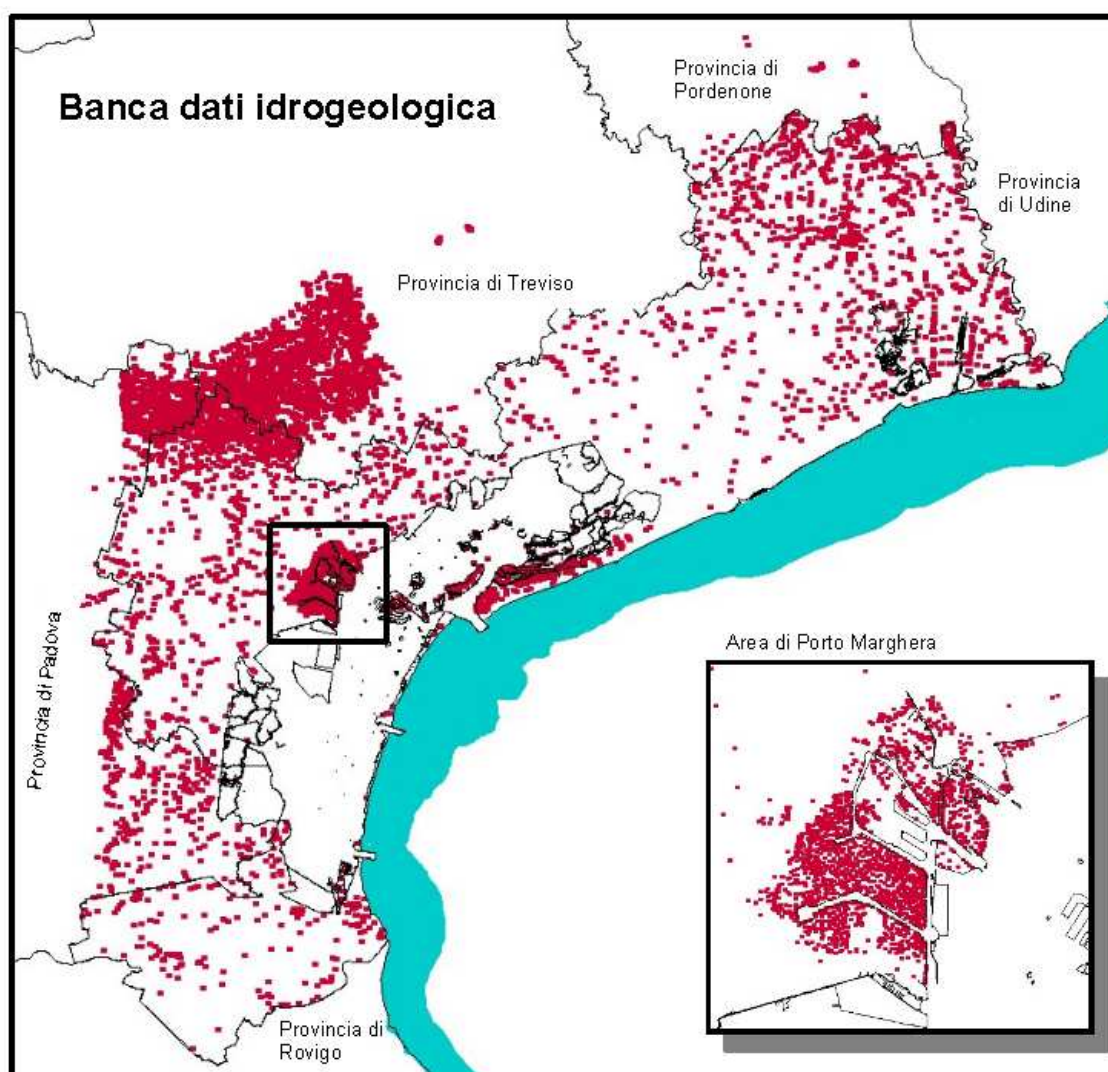


Figura 6.2.1 - Distribuzione spaziale dei dati presenti nella banca dati idrogeologica

Di seguito si fornisce uno schema che illustra la complessa struttura della banca dati.

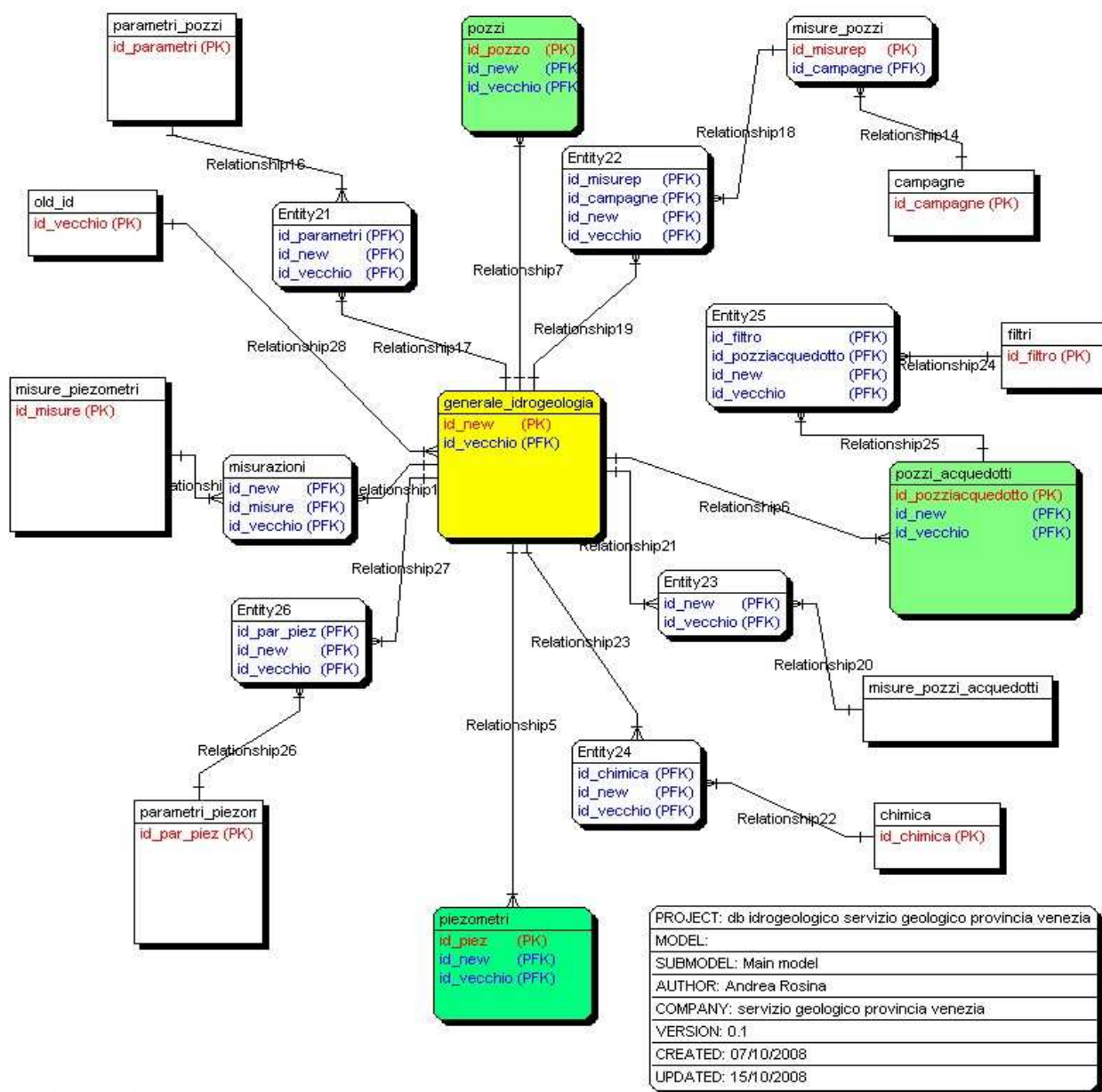


Figura 6.2.2 - Schema logico della banca dati idrogeologica.

Nell'ambito della citata collaborazione mediante protocollo d'intesa tra il Servizio Geologico della Provincia di Venezia e l'AATO Laguna di Venezia per la condivisione di un'unica banca dati idrogeologica, si è reso necessario un aggiornamento a livello strutturale della banca dati esistente. Le future necessità di condivisione e pubblicazione dei dati attraverso la rete, sfruttando le risorse software libere, hanno guidato la scelta della migrazione della base di dati da un sistema di gestione quale Microsoft Access (con cui è stata gestita la banca dati idrogeologica provinciale fino ad ora) ad un sistema quale PostgreSQL-Postgis.

La banca dati idrogeologica attuale si appoggia su un GEO-ORDBMS (Object Relational Data Base Management System), PostgreSQL – Postgis, installato in un server della Provincia di Venezia. L'immagine sottostante mostra lo schema logico del suo funzionamento. Lo schema è stato notevolmente modificato con il passaggio al nuovo ambiente di gestione, creando aree di interesse diverse a seconda dei diversi enti

partecipanti all'implementazione della banca dati. Il servizio geologico provinciale è l'amministratore principale, mentre AATO laguna di Venezia e il Dipartimento di Geoscienze Università di Padova, gestiscono principalmente il settore "pozzi".

Nel DB Idrogeologico si ha un'unica tabella geografica (generale_idrogeologia) contenente tutti i punti, con le loro caratteristiche spaziali, mentre tutte le altre relazioni sono alfanumeriche, collegate alla generale attraverso chiavi esterne.

Per l'utilizzo pratico di tale DB sono state create *ad hoc* delle viste. Le viste sono costituite da un collegamento (join) tra la parte geometrica e la parte alfanumerica di una stessa entità identificata da un ID. Attraverso un qualsiasi software GIS che consenta connessioni a DB Postgresql, è possibile la visualizzazione e l'interrogazione delle viste.

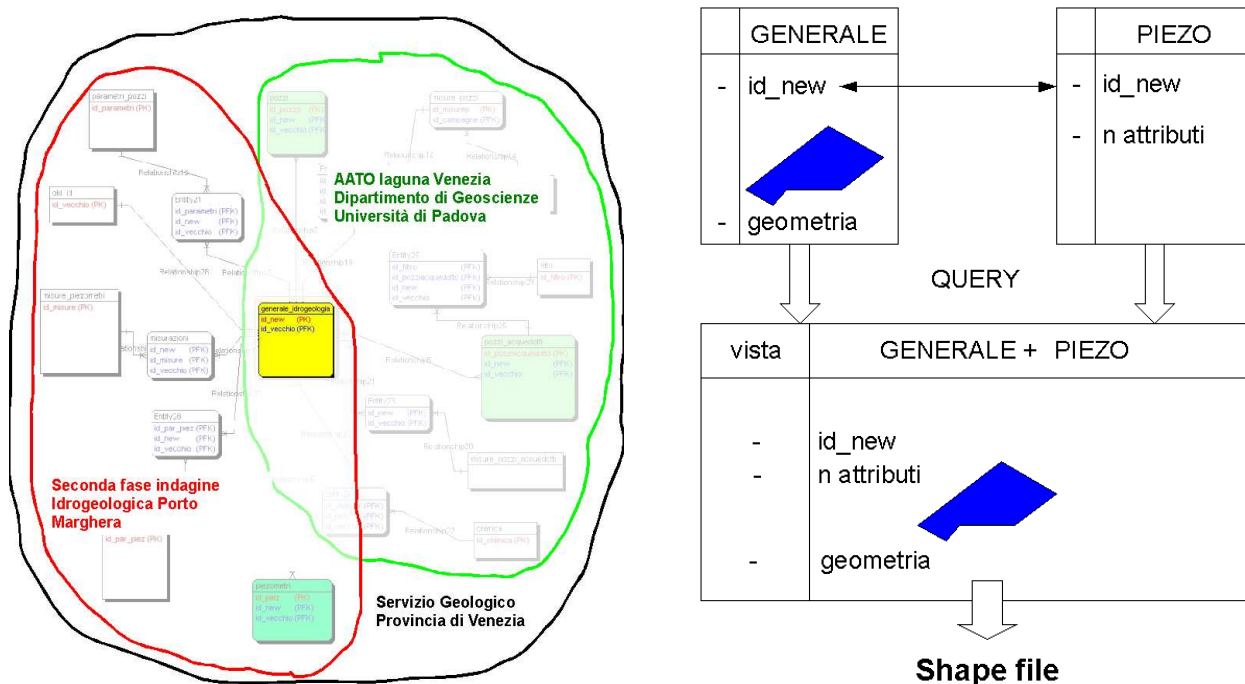


Figura 6.2.3 - Schema dei settori di gestione e schema di creazione di una vista in postgresql

6.3 Altri dati georeferenziati da Provincia e Regione Veneto

Oltre ai dati sistematizzati in geodatabase, nell'ambito dell'indagine idrogeologica sono stati informatizzati in shape file altre informazioni utili per gli scopi della indagine e per adempimenti istituzionali degli Enti partecipanti al progetto.

In particolare si è realizzato da parte della Regione Veneto uno shape file contenente i perimetri delle macroaree e delle aziende.

Inoltre si sono organizzati i dati relativi alle aziende che hanno avviato le attività di MISE della falda. Infatti la DGRV 4552/2004 prevede di comunicare mensilmente il valore di alcuni parametri. Tali informazioni sono state raccolte all'interno di un file Excel e vengono aggiornate ogni mese. I parametri visti sono: <<identificativo elemento drenante, tipologia elemento drenante, località, data di realizzazione, coordinate,

quota del bocca pozzo rispetto a livello medio mare, distanza tra piano campagna e il bocca pozzo, quota del p.c. rispetto al livello medio mare, profondità del piezometro rispetto a piano campagna, quota del limite superiore del filtro riferito a piano campagna; quota del limite inferiore del filtro riferito a piano campagna; diametro interno del piezometro, acquifero intercettato, data di inizio emungimento; livello di equilibrio della falda riferito a livello medio mare, portata media di emungimento, volume d'acqua emunta mensilmente dal singolo piezometro o dall'elemento drenante, lunghezza della trincea drenante, della vasca, del TOC o dell'impianto wellpoint>>.

7. QUADRO GEOLOGICO

7.1 Metodologia

L'obiettivo generale della parte di lavoro dedicata alla ricostruzione geologica è stato quello della definizione della struttura litostratigrafica tridimensionale del sottosuolo nel SIN e nell'area di potenziale interazione, al fine di pervenire al modello concettuale geologico.

Si tratta di un obiettivo di fondamentale importanza nell'ambito del lavoro, senza il quale nessuna elaborazione e schematizzazione idrogeologica sarebbe stata possibile, rispetto al successivo obiettivo di ricostruzione del quadro idrogeologico.

A tal fine, sulla base di quanto definito nel piano di lavoro, redatto nel 2002, per il completamento della indagine idrogeologica, si è seguito il seguente percorso logico:

- aggiornamento struttura e implementazione banca dati geologico-stratigrafica;
- elaborazioni propedeutiche (elaborazione del microrilievo e della distribuzione e dello spessore del riporto);
- profili geologici serati in relazione ai più probabili trend deposizionali (10 paralleli e 10 perpendicolari);
- distribuzione delle sabbie su spessori di 2 metri;
- zonazione in unità idro-stratigrafiche;
- profili rappresentativi delle sequenze idro-stratigrafiche (sequenze tipo);
- ricostruzione isobate primo acquifero significativo;
- distribuzione livelli permeabili-impermeabili-caranto;
- elaborazione tridimensionale dei profili geologici mediante strumenti GIS e CAD;
- ricostruzione dei principali corpi sabbiosi e dei loro collegamenti con altri acquiferi;
- rappresentazione cartografica e tridimensionale di sintesi;
- inserimento/confronto contestualizzazione nel quadro geologico a scala provinciale (GEOSINPAV).

7.2 Implementazione della banca dati stratigrafica

Durante la prima fase del progetto erano state raccolte e inserite in banca dati 1073 stratigrafie derivanti da studi compiuti fino al 2001.

Durante la seconda fase, la banca dati stratigrafica della Provincia di Venezia è stata sviluppata con l'inserimento di un grande numero di nuove informazioni derivanti principalmente dai piani di caratterizzazione che nel frattempo sono stati realizzati da Ditte ed Enti e dai sondaggi eseguiti ai fini della messa in opera dei marginamenti, principalmente a cura del MAV. A febbraio 2009, nella banca dati provinciale, per quanto riguarda l'area del SIN Porto Marghera e immediate adiacenze, risultano georeferenziate 3980 stratigrafie, di cui 2297 inserite (ovvero completamente compilate). Per ragioni di tempo si è infatti scelto di inserire prioritariamente quelle più profonde e dettagliate; le 1683 stratigrafie non ancora inserite sono quelle più superficiali (indicativamente fino a profondità di circa 9 metri) che investigano il riporto o livelli di poco inferiori oppure quelle con un livello descrittivo giudicato non sufficientemente dettagliato.

La raccolta dei dati stratigrafici e la conseguente implementazione della banca dati relativa sono procedute su più livelli:

- Dai piani di caratterizzazione presentati alle autorità preposte fino al mese di giugno 2007 dalle Aziende e da altri Enti operanti nell'area SIN, sono state estratte e georeferenziate nella banca dati tutte le stratigrafie. L'inserimento, data la mole dei dati in discussione, ha privilegiato in questa fase, ma non in maniera esclusiva, le stratigrafie con profondità maggiori di 10 m, soprattutto se la terebrazione è stata corredata da un piezometro.
- Sono state verificate ed eventualmente corrette le stratigrafie della prima fase di cui è stato possibile recuperare la stratigrafia originale, molte delle quali risultavano informatizzate in modo schematico in quanto desunte da informatizzazioni semplificate e non dal dato originario. In modo particolare, la collaborazione con la ditta Syndial, ha consentito di recuperare dagli archivi della società un numero consistente di stratigrafie cartacee che fanno parte della "banca dati ex-Enichem". Le stratigrafie cartacee hanno permesso di completare pertanto alcune informazioni già informatizzate nella banca dati provinciale ma incomplete o troppo semplificate per le esigenze del presente Progetto.
- Dagli archivi provinciali e dalla ricerca bibliografica compiuta presso altre istituzioni e altri soggetti operanti nel territorio, sono stati controllati tutti gli studi di carattere ambientale che contenessero stratigrafie utili al Progetto. I più importanti sono gli studi di RFI lungo le linee ferroviarie che interessano l'area veneziana, lo studio del Tunnel e del Passante autostradale di Mestre. I sondaggi sono stati georeferenziate e quelli profondi inseriti in banca dati.
- E' stata acquisita nel mese di Febbraio 2007 una banca dati inviata dal Comune di Venezia. Le stratigrafie contenute sono state confrontate e filtrate, a partire dalle loro ubicazioni e comunque in un intorno del singolo punto dell'ordine della decina di metri, con quelle già inserite nella banca dati provinciale; ciò per eliminare eventuali dati doppi. Tutte le stratigrafie acquisite sono state rivedute e corrette per armonizzarle ad uno standard univoco d'inserimento.
- E' stata acquisita nel mese di Marzo 2007 una banca dati inviata dal Magistrato alle Acque tramite il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova, aggiornata al Settembre 2006. Anche in questo caso,

le stratigrafie sono state confrontate e filtrate, a partire dalle loro ubicazioni e comunque in un intorno del singolo punto dell'ordine della decina di metri, con quelle già inserite nella banca dati provinciale; ciò per eliminare eventuali dati doppi. Tutte le stratigrafie acquisite sono state rivedute e corrette per armonizzarle ad uno standard univoco d'inserimento.

- Da studi recenti compiuti dal Magistrato alle Acque tramite il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova e svolti nell'area SIN, sono state estratte tutte le stratigrafie utili. I punti sono stati georeferenziati e le stratigrafie maggiori di 10 m inserite nella banca dati. In alcuni casi, Geologi della Provincia di Venezia, hanno potuto redigere stratigrafie a partire dalle cassette catalogatrici conservate nei magazzini del Magistrato alle Acque stesso oppure dalla diretta presenza nel cantiere d'esecuzione dei sondaggi.
- Sono state acquisite in banca dati e georeferenziate, le stratigrafie che derivano da studi recenti e passati compiuti dall'Autorità Portuale. In alcuni casi, Geologi della Provincia di Venezia, hanno potuto redigere stratigrafie a partire dalle cassette catalogatrici conservate nei magazzini dell'Autorità stessa oppure dalla diretta presenza nel cantiere d'esecuzione dei sondaggi.

TABELLA RIASSUNTIVA

STRATIGRAFIE		acquisite		georeferenziate	inserite in banca dati	modificate	
Prima Fase		1037	S I N	1037	1037	209	
SECONDA FASE	piani di caratterizzazione e altri studi	2570	S I N	2510	796		
			extra SIN - area centrale prov-VE	68	126		
	banca dati del Comune di Venezia	1350	S I N	689	689	689	
			extra SIN - area centrale prov-VE	21	21	21	
	banca dati del MAV	1571	S I N	489	489	204	
			extra SIN - area centrale prov-VE	113	113	50	
	altri dati del MAV	90	S I N	90	63		
	TOTALE 2a fase				3980	2297	964
	TOTALE SIN				3778	2037	893
	TOTALE extra SIN				202	260	71
altri dati extra progetto			extra SIN - area centrale prov-VE	1669	1669		

L'inserimento delle stratigrafie ha seguito una procedura standard già illustrata nel capitolo 6, con la codifica anche essa esplicitata nel capitolo 6.

Di tutte le stratigrafie, georeferenziate o inserite nella banca dati del Servizio Geologico Provinciale, sono conservate anche le copie cartacee, catalogate per codice identificativo.

Un altro importante lavoro di aggiornamento è stato compiuto sulle quote del piano campagna dei sondaggi come esse si ricavano dai singoli piani di caratterizzazione o dagli studi reperiti, allo scopo di riportare i valori dei tetti e dei letti degli strati ad un riferimento univoco di quota: il livello mare. I valori delle quote dichiarati nei rilievi plano-altimetrici allegati a piani e studi sono stati considerati complessivamente validi e utilizzati per la composizione di una carta del microrilievo. Sono comunque state verificate le quote che non risultavano coerenti al contesto e, per i sondaggi che sono stati utilizzati per la realizzazione dei profili geologici, le quote sono state prese direttamente in campagna con la strumentazione GPS in dotazione al Servizio Geologico Provinciale.

Particolare attenzione è stata rivolta alla presenza o meno del caranto, che, com'è noto, oltre ad essere un importante livello guida (ancorché discontinuo), che distingue i depositi pleistocenici da quelli olocenici in quest'area, rappresenta anche un livello a conducibilità idraulica particolarmente bassa e, quindi di importanza fondamentale nell'ambito dello studio idrogeologico. Attraverso la verifica di tutte le stratigrafie disponibili è stato controllato se esse riportassero la segnalazione caranto - dato indicato solo in alcune indagini stratigrafiche - e se questa assegnazione fosse corretta. Nel caso della mancanza di una descrizione adeguata si sono usati, dove disponibili, i valori del penetrometro tascabile.

In aggiunta alla descrizione/traduzione standard delle stratigrafie, è stata compresa nella maschera d'inserimento del database anche una nuova casella, dove indicare la quota del primo strato significativo di torba che si riscontra inferiormente al livello del caranto o, dove non presente, al primo livello sabbioso. Ciò nell'ipotesi che questo livello possa costituire un marker stratigrafico, potenzialmente databile, per tutta l'area o per porzioni di essa.

7.3 Microrilievo

Una delle prime difficoltà che si incontrano nelle correlazioni stratigrafiche attraverso l'uso di profili è di riuscire a riferire correttamente la quota d'inizio sondaggio, in genere il piano campagna, ad un valore reale ed oggettivo come ad esempio i metri sul livello medio del mare (m s.l.m.).

Infatti i sondaggi raramente sono quotati; quando lo sono, il valore è riferito a un caposaldo di riferimento con quota convenzionale e non con quota riferita al livello medio mare.

Un primo approccio per risolvere il problema è stato quello di utilizzare il Microrilievo della Provincia di Venezia, realizzato sull'intero territorio provinciale con fasce altimetriche di 1 m (0,5 m al di sotto del livello del mare) utilizzando le quote presenti nella Carta Tecnica Regionale 1:5.000.

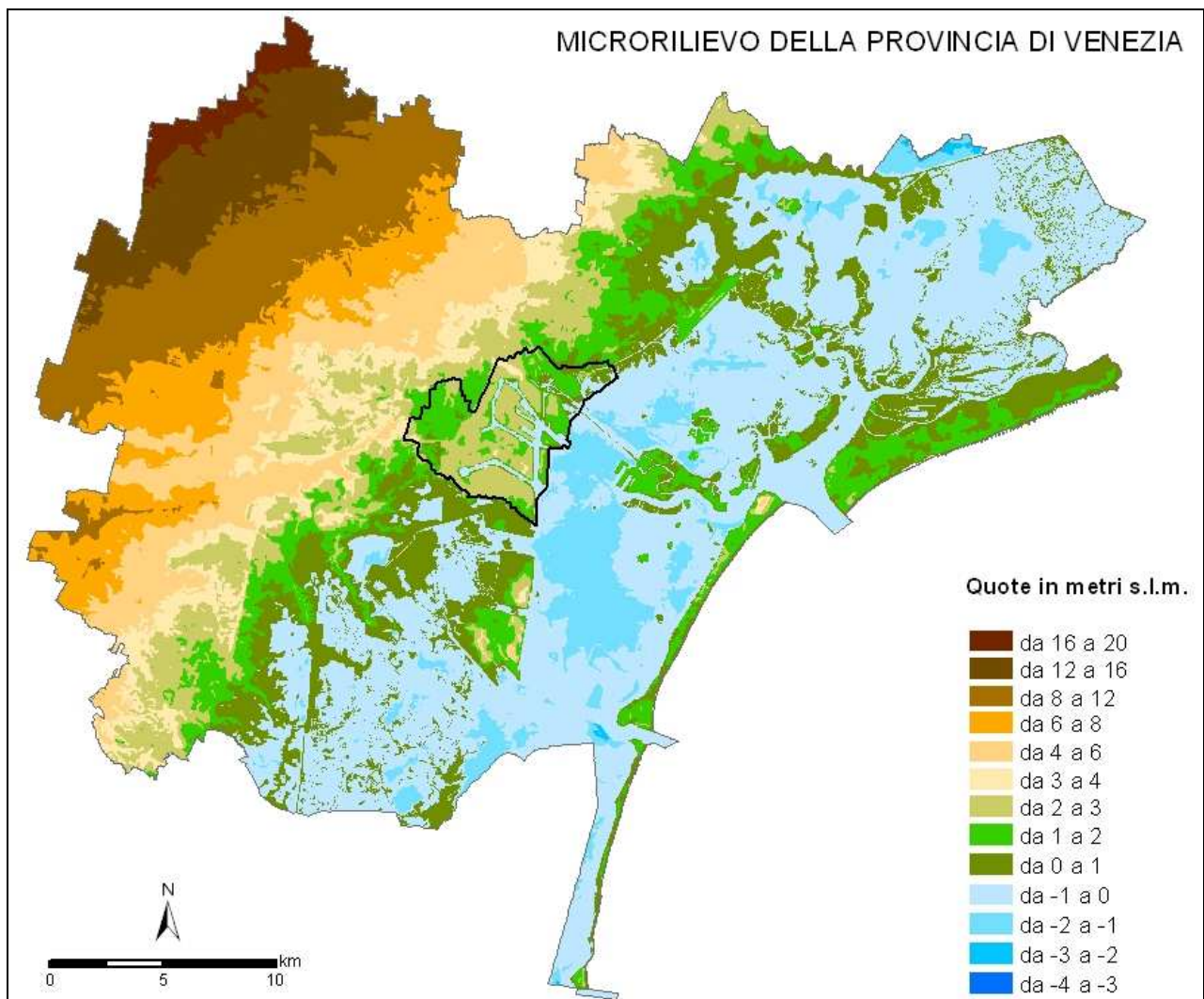


Figura 7.3.1 - Microrilievo della provincia di Venezia.

Come è evidente dalla Figura, l'area del S.I.N. risulta essere compresa tra 0 e 4 m s.l.m. La spaziatura delle fasce altimetriche è di 1 m e il microrilievo è stato realizzato per un utilizzo "geomorfologico" dove non sono state considerate le quote riferite a manufatti. Queste considerazioni hanno reso necessario realizzare un microrilievo specifico per l'area S.I.N. dove un numero elevato di quote potesse aumentare la precisione delle fasce altimetriche.

Per ottenere un risultato soddisfacente sono stati utilizzati sia le quote C.T.R., sia le quote dei piezometri presenti nell'area S.I.N. riferite al piano campagna.

7.3.1 Microrilievo Porto Marghera

L'analisi del microrilievo ha interessato la porzione di terraferma ricadente nel SIN di Porto Marghera: la superficie oggetto dell'interpolazione copre quindi 2965,85 Ha rispetto ai 5481,40 Ha dell'intero Sito di Interesse Nazionale.

La seguente versione del microrilievo è stata utilizzata, durante l'implementazione della banca dati della Provincia di Venezia, come quote assolute di riferimento nel caso le stratigrafie da codificare non le possedessero.

Area interpolata

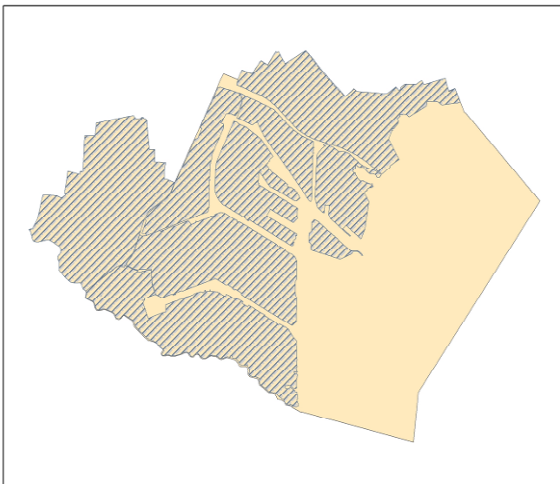


Figura 7.3.1.1 Area (tratteggiato) su cui si è eseguita l'interpolazione e Sito di Interesse Nazionale (sfondo arancione).

Le elaborazioni riportate di seguito, sono riferite ad un primo set di dati che non tiene conto degli ultimi aggiornamenti apportati alle quote dei punti investigati: è stata infatti eseguita una campagna topografica altimetrica con GPS differenziale, mirata ad eliminare zone di incertezza; sono state corrette quote relative al piano campagna dei sondaggi già inserite nel database geologico e ne sono state inserite di nuove.

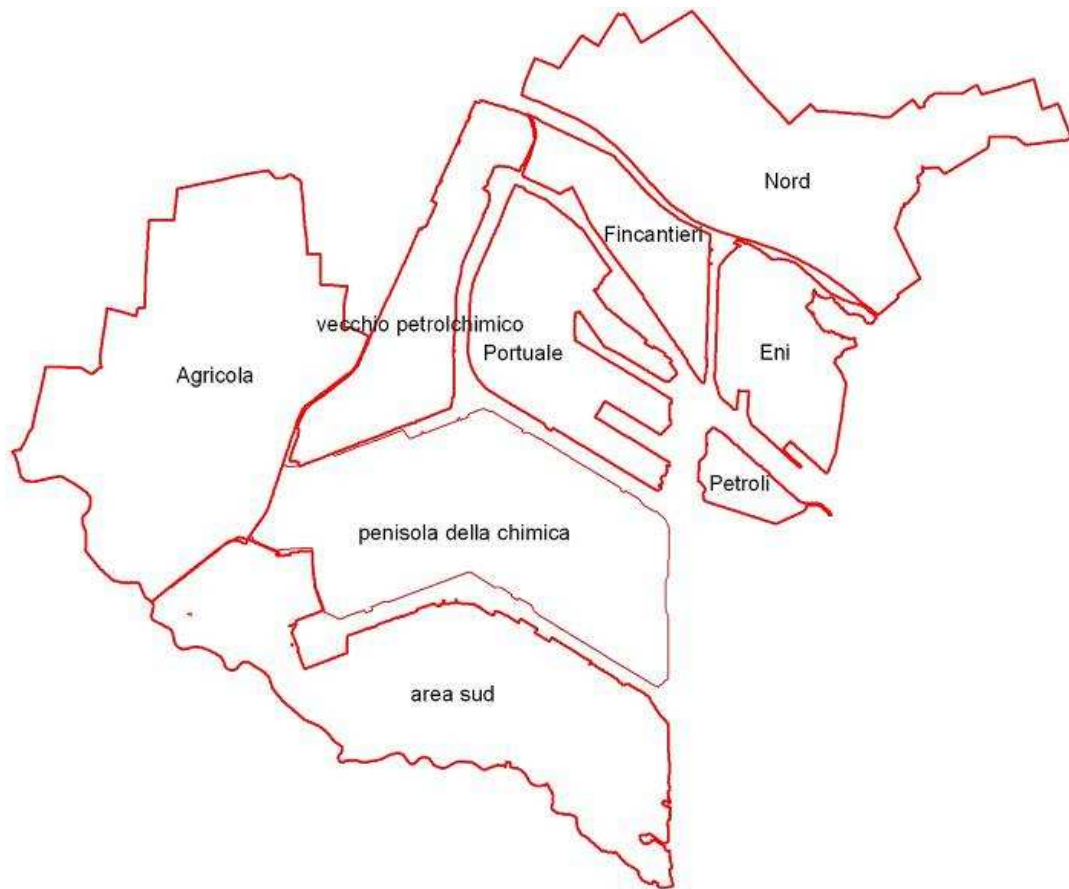
7.3.1.1 Problematiche affrontate

L'area in oggetto è caratterizzata da una forte impronta antropica, che impedisce una facile lettura della superficie topografica. La matrice "uomo" ha modificato l'area non solo nell'aspetto altimetrico ma anche in quello planare, delineando aree dalla difficile gestione nella fase di interpolazione, con bruschi cambiamenti altimetrici, (sponde dei moli, rilevati stradali) e forme irregolari (Es: area portuale).

7.3.1.2 Metodologia di esecuzione del microrilievo

Per ovviare in parte ai problemi sopra esposti, si è deciso di analizzare l'area, seguendo una suddivisione per macroaree, per cercare di rendere il più regolare possibile la geometria del confine dell'area interpolata, e per avere una, seppur minima, omogeneità di valori sulle quote topografiche.

L'area totale è stata suddivisa in 9 macroaree.



7.3.1.3 Tipologia dei dati

Uno dei maggiori problemi affrontati, è stato quello della notevole eterogeneità delle informazioni topografiche. Le fonti utilizzate sono state:

- ❖ punti quotati da CTR 1:5000 formato shape, della Regione Veneto;
- ❖ punti quotati da piani di caratterizzazione presenti all'interno dei DB "geologico" e "idrogeologico" del Servizio Geologico della Provincia di Venezia.

I punti quotati provenienti dai piani di caratterizzazione consistono in quote di sondaggi e piezometri, battuti in opportune campagne topografiche. Si sono preferiti quei punti provenienti da campagne topografiche ben documentate e qui con una maggiore affidabilità sul dato. Si sono ricercati tutti quei punti aventi quota del piano campagna riferita sul livello medio mare.

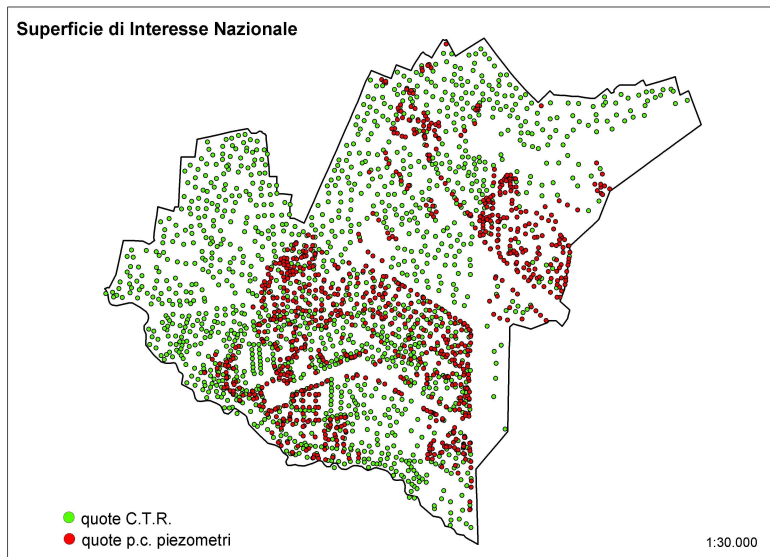


Figura 7.3.1.3 - Punti utilizzati per l'elaborazione del microrilievo.

7.3.1.4 Descrizione fasi operative.

Le operazioni di seguito descritte sono state ripetute per ogni singola macroarea interpolata.

1. Selezione dei punti quotati: con l'ausilio della selezione spaziale, vengono individuati tutti i punti quotati ricadenti all'interno dell'area interessata.
2. Analisi statistica: il set di dati così individuato viene analizzato con l'ausilio di un istogramma e un Qplot sul valore Quota, per l'individuazione di famiglie di punti con valori anomali.

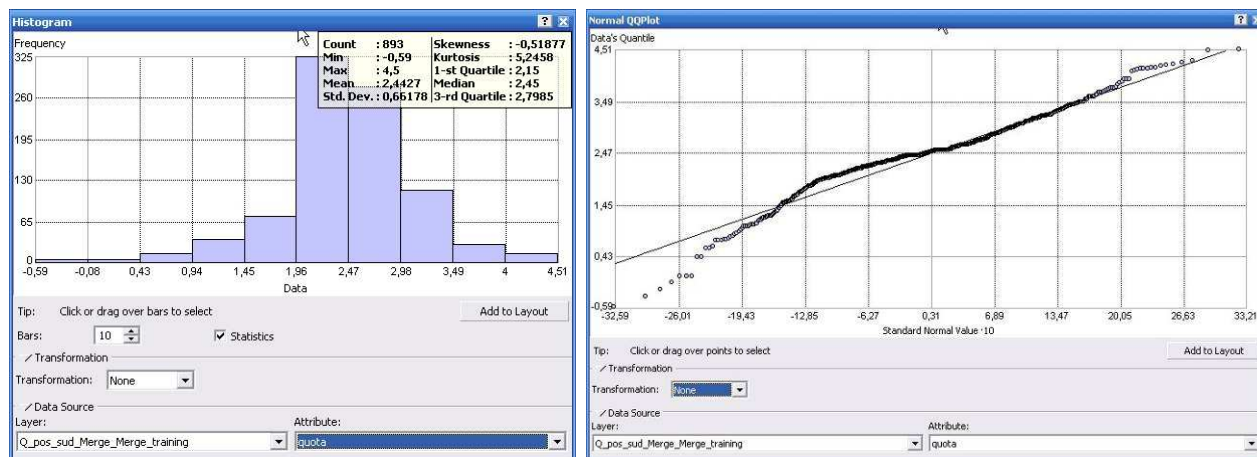


Figura 7.3.1.4 - Esempio di Istogramma di frequenza e Q-plot dei punti utilizzati per la macroarea Sud.

3. Creazione dataset: per ogni set di dati si sono creati, attraverso una funzione "random", due subset, uno chiamato "training" e uno "test". Il "training", corrispondente all'80% di tutto il dataset, verrà utilizzato per l'interpolazione vera e propria, mentre il "test" verrà utilizzato per la verifica dell'interpolazione.

La tabella sintetizza i dati rappresentativi dell'interpolazione, suddivisi per aree.

Area	Superficie	N° punti Training	N° punti Test	Densità Training	Densità Test
Nord	5004097	345	87	6,89E-005	1,74E-005
Eni	1625981	405	102	2,49E-004	6,27E-005
Petroli	412999	97	18	2,35E-004	4,36E-005
Fincantieri	1338280	148	38	1,11E-004	2,84E-005
Portuale	2529489	178	20	7,04E-005	7,91E-006
Agricola	6339471	392	99	6,18E-005	1,56E-005
Vecchio P	2075539	288	73	1,39E-004	3,52E-005
N. Petrolchimico	4891756	1261	421	2,58E-004	8,61E-005
Sud	5440905	966	372	1,78E-004	6,84E-005

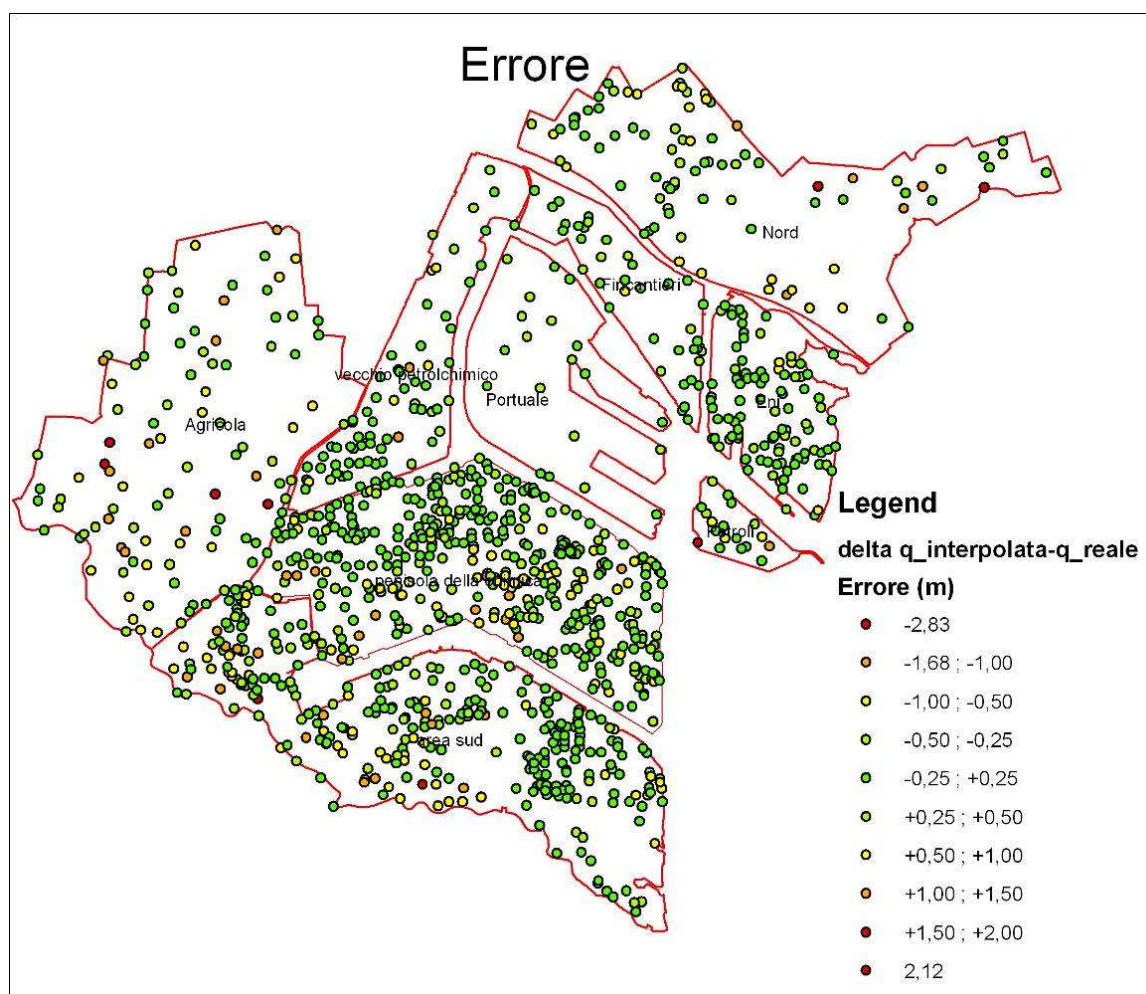
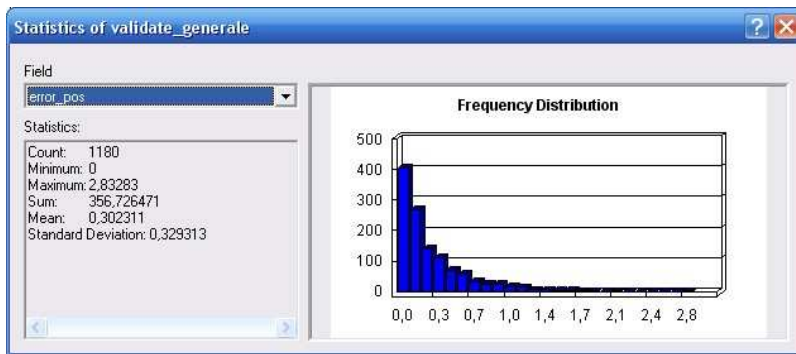


Figura 7.3.1.5 - Distribuzione della differenza di quota tra punto interpolato e quota reale.

Mappa dell'errore di stima sui punti del set "test". E' stata calcolata facendo la differenza fra il valore predetto dall'interpolatore e la quota reale derivante da campagna topografica.

Il set di dati è stato suddiviso partendo da una classe centrale (-0,25 m ; +0,25 m), con passo 0,25 m fino a +/- 0,50 m, poi con passo 0,50 m fino ai valori massimi in positivo e negativo.

La media dell'errore è pari a 0,02 m, con una deviazione standard generale per tutta l'area interessata di 0,44.



Per rendere la media dell'errore più significativa, si sono messi tutti i valori positivi; così facendo si ha una media dell'errore generale per tutta l'area interpolata pari a 30cm.

7.3.1.5 Conclusioni

Il microrilievo ottenuto, dimostra i limiti di attendibilità, supposti in partenza, e soprattutto si riscontra la difficoltà di ottenere buoni risultati validi per tutta l'area interessata dallo studio.

L'area si può suddividere in una zona centrale con buoni valori di deviazione standard, ed errore sulla quota, ed un'area esterna (sud, agricola, nord) dove l'interpolazione ha dato errori sulle quote contenuti, ma con un'incertezza sul dato abbastanza elevata.

Nella zona centrale si può stimare un valore di quota con un'incertezza di ~0,50 m.

Nella zona esterna l'errore supera lo scopo d'utilizzo dell'interpolazione.

7.3.1.6 Sviluppi

Nell'ambito della collaborazione fra Provincia di Venezia e Commissario Delegato per l'Emergenza idraulica, è stata sviluppata dal Servizio geologico della Provincia una versione del micro rilievo. L'elaborazione deriva da un rilievo laser scanner eseguito dall'Università di Trieste per la struttura commissariale. La tipologia del rilievo permette di avere una precisione altimetrica con errori inferiori al decimetro.

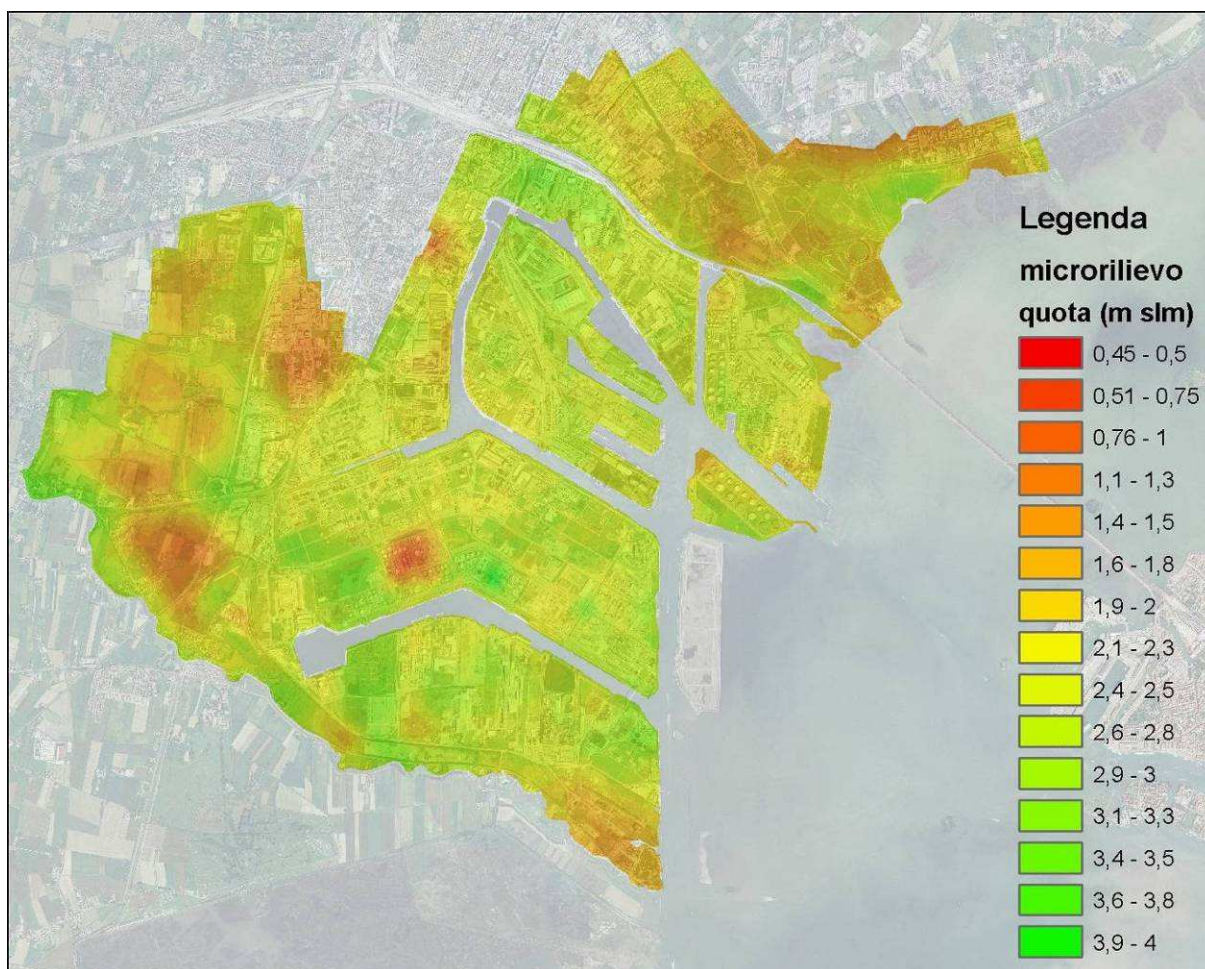


Figura 7.3.1.6- Microrilievo LIDAR dell'area di Porto Marghera.

7.3.2 DTM da dati LIDAR

La banca dati stratigrafica ha un campo dati "quote": ad ogni sondaggio è associata la quota assoluta del piano campagna su cui giace. Le quote inserite in banca dati sono ricavate in modi diversi: da un rilievo topografico eseguito contestualmente alla campagna di carotaggi (una parte dei singoli piani di caratterizzazione dell'area SIN possiede il rilievo planimetrico dei punti con un vari gradi di precisione), dall'assegnazione della quota più prossima al punto ricavata dalla CTR, da una prima elaborazione del microrilievo dell'area SIN compiuta dall'ufficio Difesa Suolo-Servizio Geologico della Provincia di Venezia. Quando il sondaggio non possiede una propria quota assoluta del piano campagna derivata da uno specifico rilievo topografico, è stata assegnata la quota CTR più vicina e a partire dal mese di Ottobre 2007 la quota derivata dalla prima elaborazione del microrilievo su accennata. Per un approfondimento delle modalità di esecuzione di questa prima elaborazione si rimanda al paragrafo 7.3 della bozza del documento finale.

La prima elaborazione del microrilievo ha riguardato un set di dati aggiornato al settembre 2007 e, di conseguenza, non ha tenuto conto di aggiornamenti posteriori apportati alle quote dei punti interessati. Gli aggiornamenti sono stati molteplici: una campagna topografica altimetrica con GPS differenziale, mirata ad eliminare zone di incertezza; la correzione di quote già inserite nella banca dati mediante l'acquisizione di nuovi dati relativi alle specifiche campagne di rilievi; l'inserimento di nuovi sondaggi nella base dati stratigrafica.

La conseguenza di questa articolata modalità di acquisizione dei dati, unita alla successione di aggiornamenti delle quote dei sondaggi, è una certa incertezza dei valori delle quote assolute sui quali si sono sviluppate le analisi stratigrafiche e idrogeologiche del progetto.

Una possibile soluzione alla disomogeneità delle fonti dei dati è arrivata dall'esecuzione da parte del Commissario per l'emergenza agli eventi eccezionali del 26 settembre 2007, di un rilievo Lidar e iperspettrale del territorio della regione colpito dall'alluvione. Il rilievo ha coperto tutta la zona del SIN.

7.3.2.1 Metodologia utilizzata.

Il rilievo LIDAR, commissionato all'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale di Trieste, è stato eseguito con un sistema laser a frequenza di acquisizione maggiore di 100kHz e almeno 4 punti di misura sui ritorni multipli. La densità media di punti a terra è di 6 punti/m², la densità minima 2 punti/m², l'errore altimetrico di ± 7 cm. La quota geoidica è stata ottenuta dalla quota ellissoidica WGS84 attraverso l'utilizzo del dato di scostamento geoidico fornito a corredo della monografia del caposaldo IGM prescelto.

I dati restituiti consistono in una nuvola di punti in formato LAS completa dei quattro impulsi e dell'intensità.

Grazie ai dati concessi dal Commissario delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della regione Veneto, l'ufficio Difesa del Suolo-Servizio Geologico ha elaborato un nuovo DTM dell'area di Porto Marghera. Per l'elaborazione è stato utilizzato un processore Intel Core 2 Quad CPU 2.4 GHz con 3.5 GB di RAM.

I dati trattati per l'elaborazione del microrilievo in oggetto si riferiscono solamente al dato "Model Keypoints GROUND". In pratica si sono utilizzati i dati che si riferiscono esclusivamente al suolo, (edifici esclusi) con una densità di punti inferiore rispetto al dato GROUND. Per esempio, prendendo come riferimento il foglio 127112 della CTR Veneto, si possono notare le differenze delle quantità di valori coinvolti nell'elaborazione.

<i>Tipo file</i>	<i>Tipo rilievo</i>	<i>Dimensioni su disco</i>	<i>N° Punti</i>	<i>Area foglio CTR (m²)</i>	<i>Superficie coperta da edifici (m²)</i>	<i>Area netta (m²)</i>	<i>Densità punti/m²</i>
XYZ	GROUND	132 MB	15.640.972	9.060.684	1.490.767	7.569.917	2.06
XYZ	MK GROUND	31.9 MB	1.077.413	9.060.684	1.490.767	7.569.917	0.14

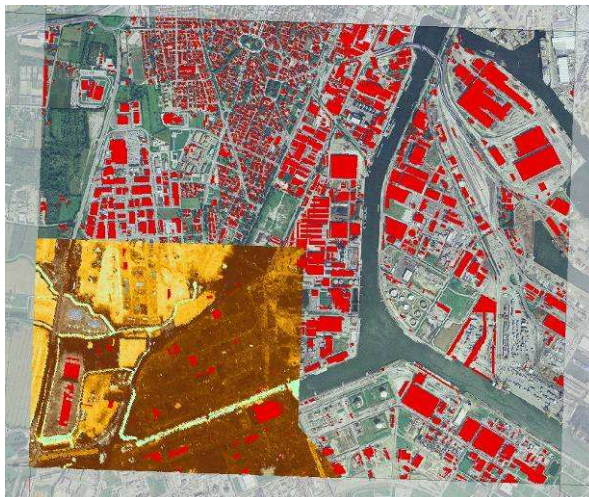
I dati sono in formato ASCII x y z. Ogni singolo file copre un quarto di foglio di carta tecnica regionale alla scala 1:5000.

Per l'elaborazione si è utilizzato il GIS GRASS, in particolare l'interpolazione per la creazione di superfici attraverso l'algoritmo IDW da punti vettoriali.

L'Inverse Distance Weight assegna un valore alla cella in base ai valori delle celle vicine, in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza relativa delle celle. Il metodo IDW è stato usato perchè offre, con un tempo di interpolazione ridotto, buoni risultati su dataset contraddistinti da un numero elevato di record e geometrie non regolari.

Poiché la zona di interpolazione ha una notevole complessità morfologica, costituita in prevalenza da rilevati antropici, l>IDW ha la capacità di restituire con buona approssimazione i bruschi cambi di pendenza e di non assegnare valori oltre il range del dataset, adattandosi bene alla reale situazione topografica.

La Figura sottostante è un esempio di sovrapposizione di un'ortofoto, livello FABBRIC, della CTR 1:5000 formato shape, con i punti LIDAR "mk GROUND" tematizzati secondo la quota, in un'area con un'alta densità di costruito.



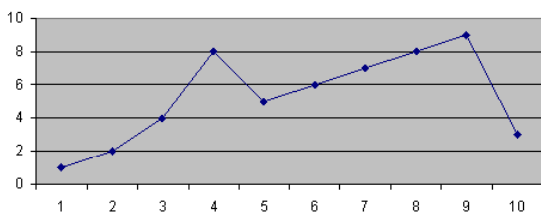
Nei grafici seguenti è illustrata la differenza fra un'interpolazione IDW e, per esempio, un'interpolazione spline che tende, invece, a smussare la superficie interpolata fra i dati reali.

L'interpolazione è stata eseguita per singolo foglio CTR 1:5000, previa l'unione dei 4 file ASCII che ricoprono la superficie.

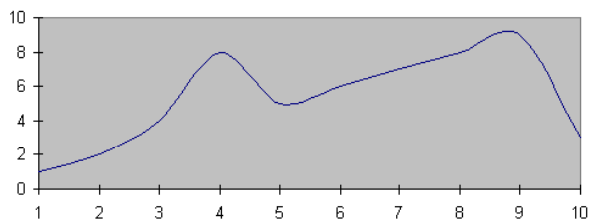
Si è quindi proceduto al ritaglio di ogni singolo foglio e alla successiva unione. In seguito a tale operazione si sono creati dei punti "no-data" tra un foglio e l'altro.

Tale errore è minimizzabile attraverso una riduzione delle dimensioni della cella d'interpolazione.

IDW Interpolation



Spline Interpolation

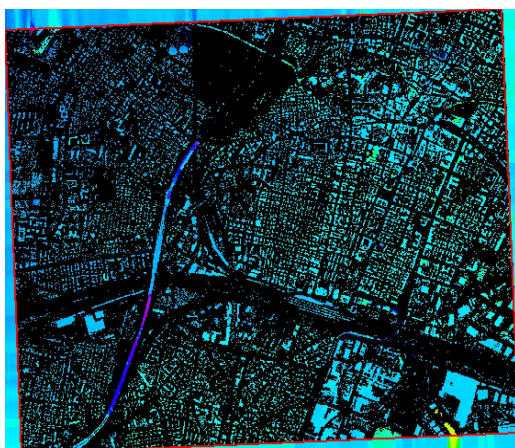


Nell'immagine a fianco è rappresentato un particolare del DTM in una zona di contatto tra fogli diversi con diversi punti "no-data" dovuti agli errori ai margini della regione d'interpolazione.

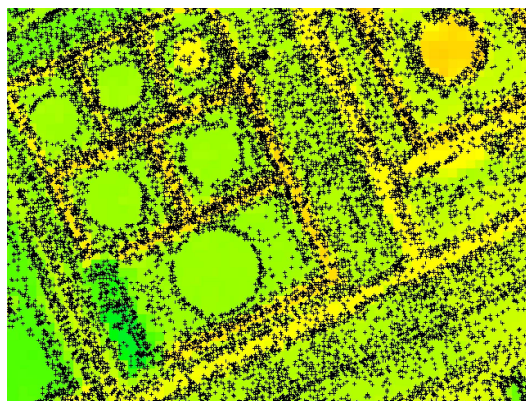


Per l'interpolazione è stata scelta una maglia quadrata con lato di 5 m anche per raggiungere un compromesso tra velocità d'interpolazione e risoluzione.

Le operazioni sopra descritte si sono rese necessarie per le elevate dimensioni dei file originali, che rendono problematica l'elaborazione su area vasta.

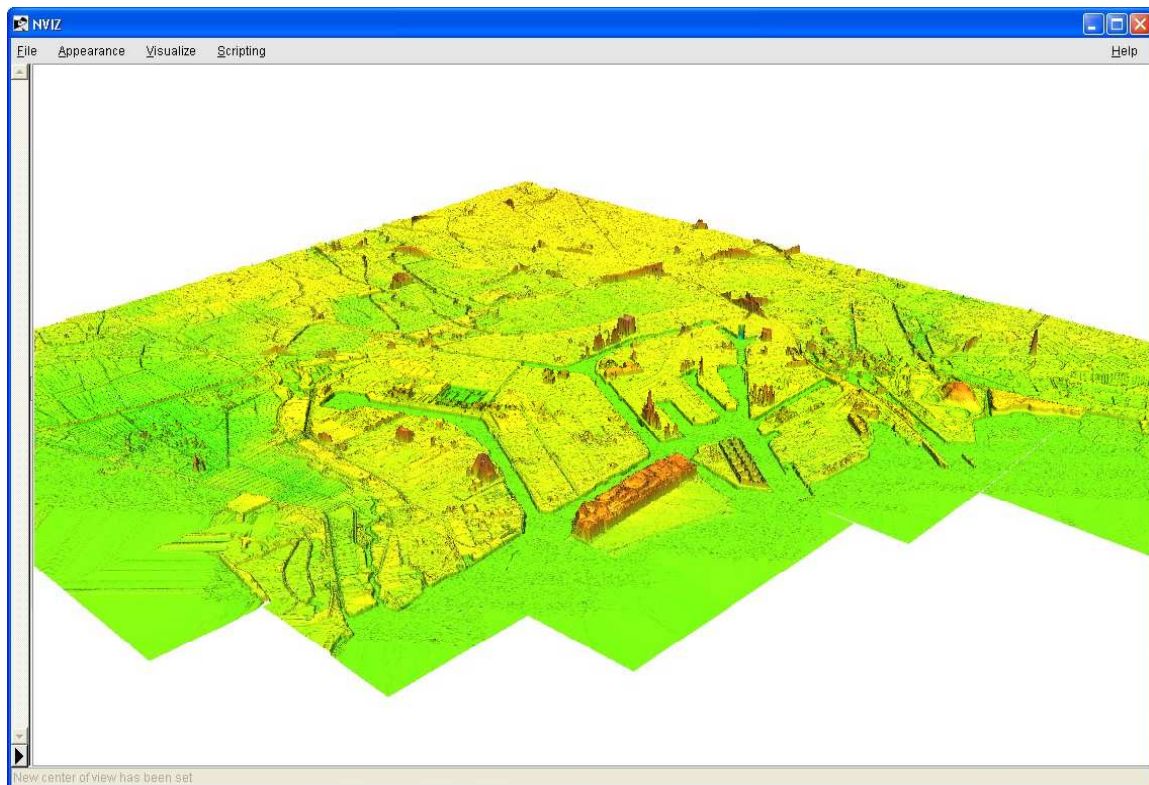


La Figura accanto rappresenta la densità di punti "mk GROUND". Si notano le zone marginali dovute alla rotazione del taglio della CTR, dove l'interpolazione produce i triangoli d'errore. Tali zone sono state eliminate prima dell'unione tra le singole elaborazioni.



Qui accanto è rappresentato invece un particolare dell'elaborazione, riguardante la zona della Penisola della chimica occupata dai grandi silos di stoccaggio dei materiali.

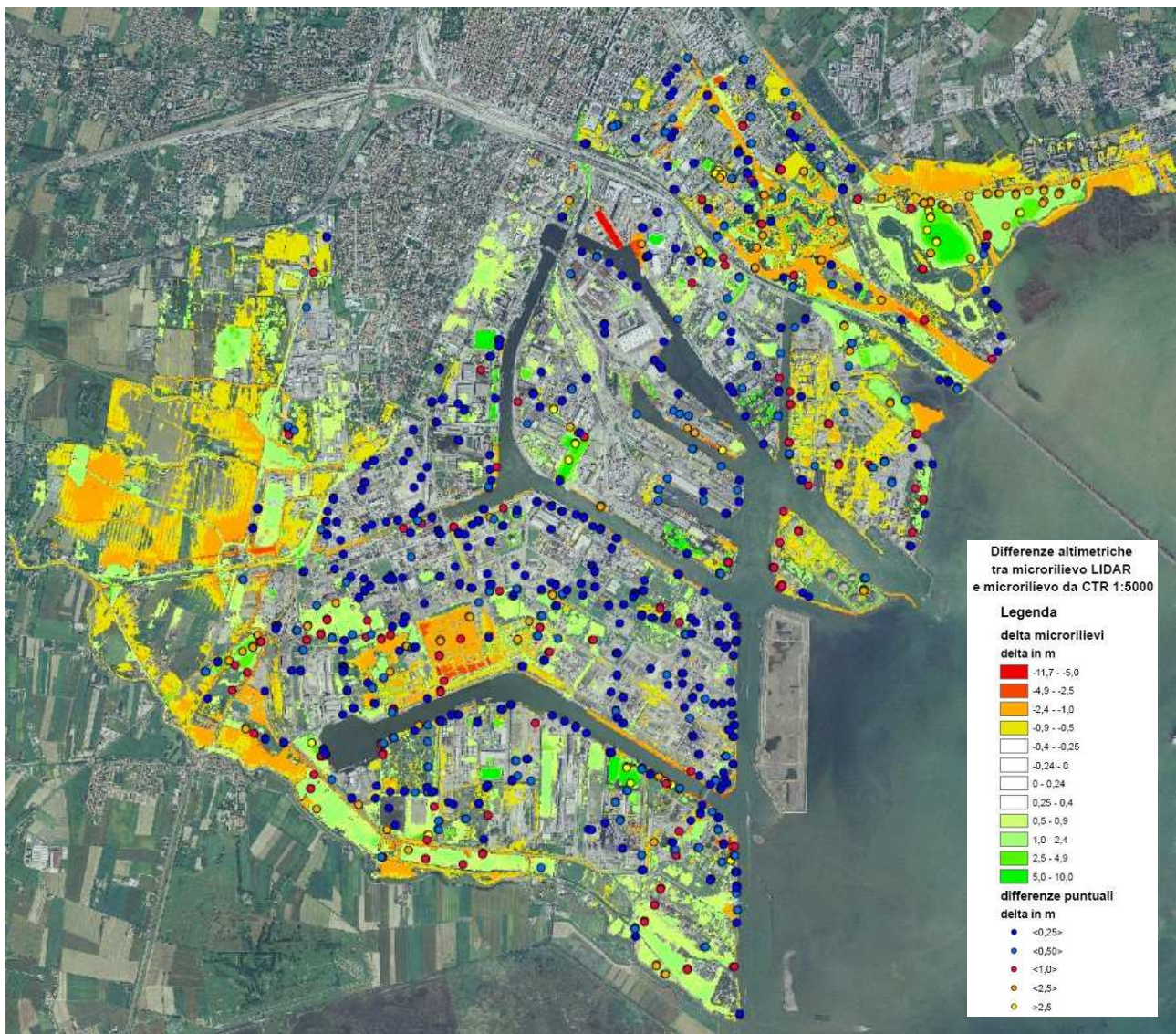
Le tre immagini sottostanti mostrano la diversa risoluzione di un dato GROUND (1) completo e un dato MKGROUND (2). Le immagini sono una semplice tematizzazione delle quote della nuvola di punti rilevata.



Ottenuto il microrilievo su tutta l'area di Porto Marghera, lo si è utilizzato per la validazione dei precedenti elaborati altimetrici e per un confronto con le quote relative ai sondaggi utilizzati per la creazione del modello tridimensionale.

Una prima elaborazione è consistita nel verificare le differenze di quota tra il microrilievo precedentemente descritto e il nuovo DTM da LIDAR, attraverso un'operazione di differenza tra i due file raster. Essa ha restituito un nuovo livello raster con maglia 5x5 m, successivamente riclassificata per una più facile lettura. La figura successiva riporta le due elaborazioni prodotte.

Nella prima sono visibili solo le aree dove la differenza di quota tra i due raster è superiore ai 49 cm. I valori positivi si riferiscono a zone dove le quote da DTM LIDAR sono più elevate rispetto alle quote del DTM da CTR+sondaggi.



Si è voluto, inoltre, verificare se lungo le tracce dei profili geologici esistessero zone particolarmente affette da errori altimetrici che sono presentate nella seconda Figura. A tale scopo si è vettorializzato il livello raster risultante dalla precedente elaborazione e attraverso una selezione per vicinanza al punto di sondaggio, si sono selezionati i punti ricadenti all'interno di un buffer di 7,5 m dal punto di sondaggio.

I punti così selezionati sono stati riclassificati in 5 classi d'errore, espresse in termini assoluti:

entro 25 cm

tra 25 e 50 cm

tra 0,5 e 1,0 m

tra 1,0 e 2,5 m

superiore ai 2,5 m

7.3.2.2 Considerazioni sull'aggiornamento quote sondaggi.

La rielaborazione dei dati da parte del Servizio Geologico ha portato a un nuovo microrilievo del SIN e all'elaborazione di due carte di sintesi, mettendo in evidenza alcune situazioni che rendono necessari chiarimenti rispetto alle quote contenute nella banca dati provinciale.

Nella carta di sintesi che riguarda la differenza in termini assoluti riscontrata fra le quote dei sondaggi impiegati nell'esecuzione dei profili geologici e la quota ricavata dal rilievo lidar, spiccano alcuni contesti in cui la difformità è notevole.

La discordanza può essere dovuta alla suddetta disomogeneità delle condizioni operative dei singoli rilievi topografici (mancanza di uniformità rispetto ai capisaldi considerati, scarsa qualità del rilievo, diversità dei mezzi impiegati, ecc.); alle modalità di inserimento e georeferenziazione dei punti (talvolta il punto sede di sondaggio viene trasposto da mappe prive di indicazioni geografiche certe), all'insufficiente attendibilità dell'interpolazione effettuata nella prima elaborazione del microrilievo nelle aree con una scarsa densità di punti quotati; all'approssimazione introdotta nell'attribuzione delle quote CTR in assenza di rilievo topografico. A questi principali motivi è da attribuire le differenze che si riscontrano ne:

- i siti che comprendono grandi serbatoi di stoccaggio (silos);
- le cosiddette aree agricole.

I siti che includono i grandi serbatoi si concentrano nella Penisola delle Raffinerie, nell'Isola dei Petroli e nella Penisola delle Chimica, soprattutto nell'area Polimeri Europa. In queste aree, infossate rispetto al piano campagna circostante, grandi vasche impermeabili proteggono da eventuali sversamenti di grandi silos/serbatoi.

Nelle cosiddette aree agricole, situate nella parte occidentale del SIN, la disponibilità di sondaggi quotati è molto scarsa.

La difformità, però, può essere dovuta a recenti trasformazioni altimetriche subite da alcune zone del SIN. Luoghi di queste alterazioni altimetriche sono stati verificati e si possono raggruppare in:

- siti lungo le banchine dei canali portuali e industriali o immediatamente adiacenti;
- siti di sondaggi compiuti all'interno dei canali;
- siti di discariche o altre aree sottoposte di recente a operazioni di bonifica, rimaneggiamento e/o risistemazione ambientale;
- siti che includono aree sottoposte a trasformazioni produttive recenti;

Lungo le banchine e i bordi dei canali industriali e portuali sono stati eseguiti, in questi ultimi mesi, numerosi interventi di sistemazione. I lavori hanno coinvolto circa una decina di metri lungo le rive dei canali; in alcuni casi distanze anche maggiori. Le banchine e altre aree adiacenti, sono, inoltre, sede di movimentazione di

materiale in operazioni di carico-scarico che danno luogo a cumuli temporanei di notevole ampiezza ed altezza.

Alcuni sondaggi, in alcuni casi molto profondi, sono stati effettuati da pontoni galleggianti all'interno dei canali, con battenti idrici anche di una decina di metri. Le quote assolute sono sotto il livello del mare.

Vaste aree del SIN, in questi ultimi anni, sono state sottoposte a operazioni di bonifica, rimaneggiamento e/o risistemazione ambientale; in genere le quote di tutte queste aree sono state elevate. Le più estese sono l'area di Passo Campalto, il Parco San Giuliano, l'area meridionale dei Pili, l'area delle discariche sistemate ex-Agricoltura ed ex-Ausidet nell'area del Porto Commerciale; l'area dei laghetti e della discarica Montedipe nella Penisola della Chimica, le aree delle discariche A-B-C-2B ed ex-Ausimont a Moranzani e Malcontenta.

Una vasta area compresa fra Via Fratelli Bandiera e la bretella di giunzione Tangenziale di Mestre-rotonda Romea ha visto, invece, una trasformazione di carattere produttivo e destinata ad area a servizi. Mentre nella Prima Zona Industriale è sorto il Parco Scientifico-Tecnologico Vega e in Via Torino sta sorgendo il polo scientifico dell'Università di Venezia.

7.3.2.3 Conclusioni.

Nonostante le differenze riscontrate nelle quote assolute di alcune aree del nuovo DTM ricavato dal rilievo LIDAR e i punti sede dei sondaggi utilizzati nelle interpretazioni dei profili geologici del progetto, la rappresentazione del modello geologico e la caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi sottostanti al SIN non subisce particolari modifiche. Le verifiche a cui sono stati sottoposti i profili stratigrafici con le nuove quote in alcuni punti, non hanno prodotto cambiamenti sostanziali alle correlazioni fra strati omogenei che sono la base del lavoro interpretativo dell'assetto stratigrafico dell'area.

Ciò è dovuto alla scala utilizzata nelle elaborazioni. Il modello geologico dell'area SIN è espresso in forme geometriche necessariamente semplificate, in conseguenza a correlazioni compiute fra punti a litologia omogenea ma distanti tra loro anche qualche centinaio di metri e quindi a una scala più estesa rispetto alle differenze puntuali o di piccola area coinvolte nella nuova elaborazione.

Inoltre, i livelli stratigrafici presenti nella banca dati, base per le interpretazioni dei profili geologici, sono state raggruppate, in chiave idrogeologica, in litotipi a granulometria prevalentemente grossolana o fine.

Anche le analisi sulle superfici guida quali il caranto o gli orizzonti torbosi non sono effettivamente modificate perchè i punti con quote anomale rispetto alla quota media data dall'insieme dei punti considerati (almeno alla scala dell'intera area) erano già stati considerati tali.

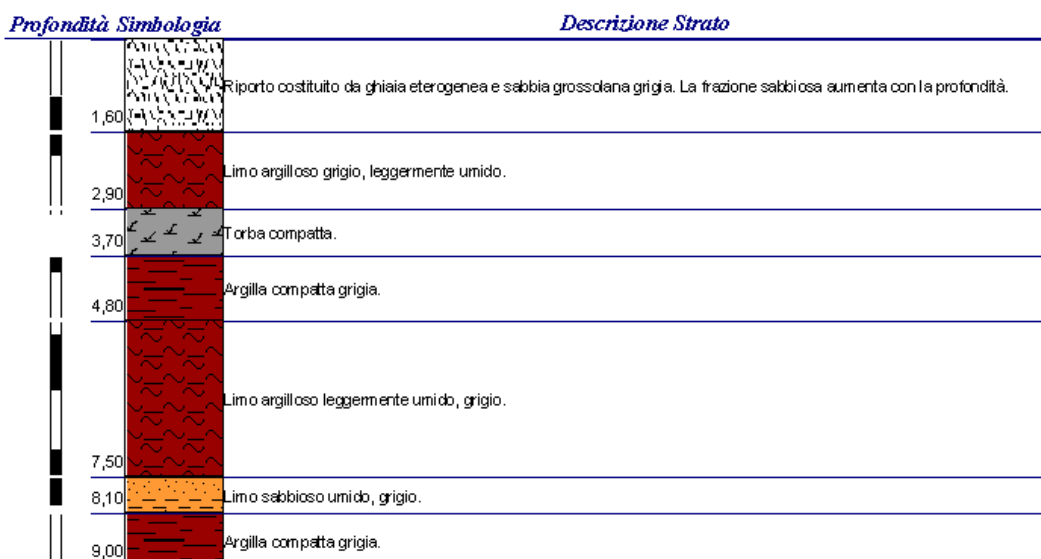
Riassumendo, la risoluzione del dato assorbe le possibili differenze di quota.

7.4 Carta della distribuzione del riporto

Come è noto una considerevole percentuale dell'area in studio è stata sottratta al territorio lagunare attraverso la "bonifica per colmata", al fine di consentire lo sviluppo del polo industriale di Porto Marghera.

Nell'ambito dello Studio Idrogeologico è stata elaborata una mappa della distribuzione dello spessore del riporto all'interno del Sito di Interesse Nazionale, ottenuta dall'interpolazione dei valori puntuali presenti nella banca dati stratigrafica (Figura 7.4.3).

Per ottenere questo tipo d'informazione si sono utilizzate le stratigrafie associate ai sondaggi ubicati nell'area considerata e nel suo intorno; in particolare si sono estratti tutti quei sondaggi che, nella descrizione stratigrafica, presentassero uno o più strati codificati come "riporto" e come "cemento, asfalto, interventi antropici" (codice litologico = 7003 e 7004). Di tutti questi sondaggi è stato estrapolato il letto dello strato o del pacchetto di strati, valore che rappresenta lo spessore totale del "Riporto". Si riportano di seguito alcuni esempi.



Sondaggio n. 20438

La profondità del letto del riporto, ossia lo spessore, è pari a 1,6 m.



Sondaggio n. 20460

La profondità del letto del riporto, ossia lo spessore, è pari a 3,2 m.

Figura 7.4.1. - Esempio di stratigrafie contenenti riporto (codice "7003" – "7004") rappresentati con il retino in bianco e nero.

Nella tabella seguente si riporta, a titolo esemplificativo, uno stralcio dei sondaggi utilizzati con associate le informazioni necessarie alla realizzazione della mappa.

ID DATO *	profondità del letto del riporto (spessore)	GAUSS BOAGA fuso est - X	GAUSS BOAGA fuso est - Y
12544	1,3	2305460,76	5040535,34
12546	0,4	2302220,48	5039098,18
12548	0,7	2302918,6	5037864,86
12549	0,8	2302965,04	5037956,64
12550	0,9	2303054,42	5038018,65
12551	0,8	2303080,38	5038213,21
12552	1	2303142,99	5038227,94
12553	1,5	2303044,56	5037842,25
12554	0,8	2303082,93	5037903,1
12555	1	2303207,98	5038165,41
12556	0,7	2303248,65	5038276,29
12557	0,8	2303127,52	5038328,92
12560	1,4	2305483,43	5039678,35
12561	0,9	2305491,22	5039710,47
12562	0,6	2305440,24	5039715,04
12563	0,8	2305468,07	5039754,84
12564	0,1	2305562,91	5039726,55
12565	0,8	2305418,31	5039733,89
12566	1,3	2305380,21	5039762,27
12567	1	2305344,12	5039799,94
12568	1,1	2305396,77	5039865,19
12569	1,4	2305433,91	5039836,14

Tabella 7.4.2 - Stralcio dei sondaggi utilizzati con associate le informazioni necessarie alla realizzazione della mappa

Nella Figura seguente sono riportate le ubicazioni dei sondaggi utilizzati. Sono stati utilizzati 3554 sondaggi.

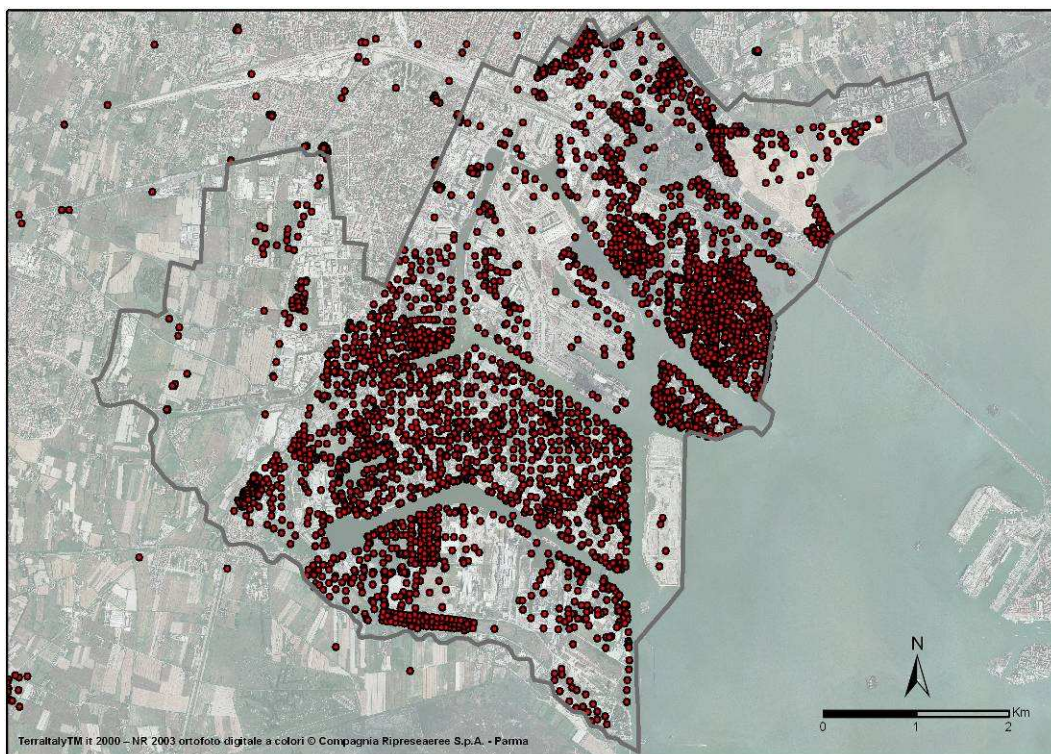


Figura 7.4.3 - Nella Figura accanto sono riportate le ubicazioni dei 3554 sondaggi utilizzati

Ad ogni sondaggio utilizzato è quindi associata l'informazione relativa allo spessore del "riporto". Dall'interpolazione di questi dati puntuali (Kriging Ordinario) è stato possibile infine ottenere la *Carta della distribuzione del riporto* (Figura 7.4.4).

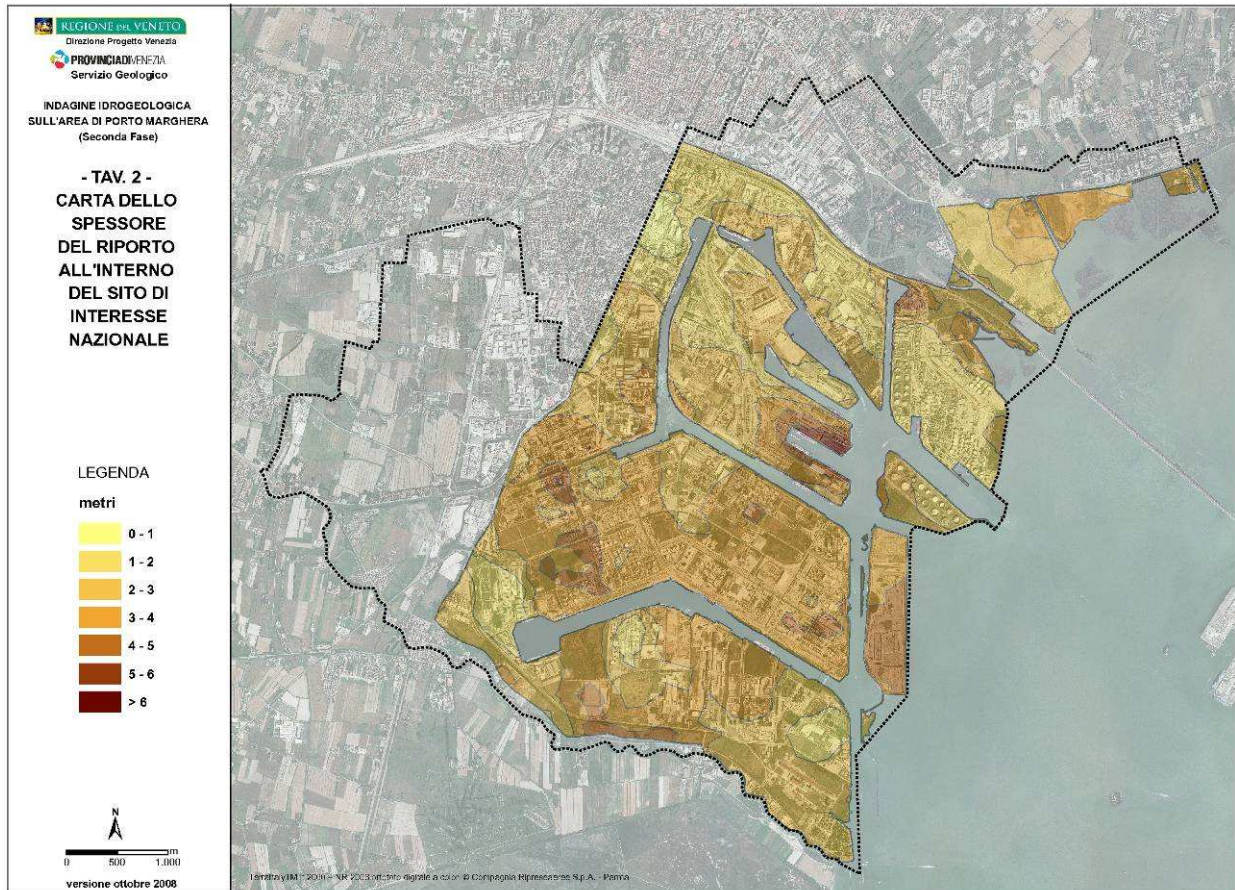


Figura 7.4.4 - Spessore del riporto all'interno del S.I.N.

Questa mappa evidenzia come i massimi spessori del riporto siano soprattutto distribuiti nell'area centrale e meridionale del S.I.N., dove la laguna è stata imbonita, mentre spessori ridotti risultano a nord-est e a est. Per la parte che ricade in area agricola, si ha un numero molto basso di sondaggi (Figura 7.4.3) e quindi l'interpolazione perde di significato. Il dato potrà essere integrato una volta che ARPAV avrà eseguito la caratterizzazione di queste aree.

7.5 Carta della distribuzione del caranto

Come è noto il cosiddetto “caranto” è un paleosuolo con caratteristiche analoghe ai suoli della bassa pianura pleistocenica del Brenta. Esso rappresenta un livello stratigrafico guida, nonostante sia in parte discontinuo, e il limite tra le alluvioni del Brenta pleistocenico e quelle del Brenta olocenico. Generalmente si presenta come uno strato di spessore variabile mediamente tra 1 e 2 m, costituito da limo argilloso o argilla sovraconsolidati a causa della lunga pedogenesi, con colorazioni screziate dall’ocra al grigio, contenente comuni noduli carbonatici duri, con diametro da pochi mm ad alcuni cm.

Dalla banca dati stratigrafica della Provincia di Venezia sono stati selezionati tutti quei sondaggi, ricadenti nell’area S.I.N. e nel suo intorno, che presentano uno o più livelli definiti direttamente o indirettamente come “Caranto”, ossia tutti quei sondaggi dove è stata riconosciuta la presenza del Caranto, come sopra definito.

In Figura 7.5.1 vengono rappresentati tutti i sondaggi dove è stata riconosciuta la presenza di Caranto.

Dalla mappa si può notare come il Caranto non sia sempre presente (anche se l’assenza può essere legata al suo mancato riconoscimento) e quindi esso rappresenta un livello diffusamente presente ma non continuo.

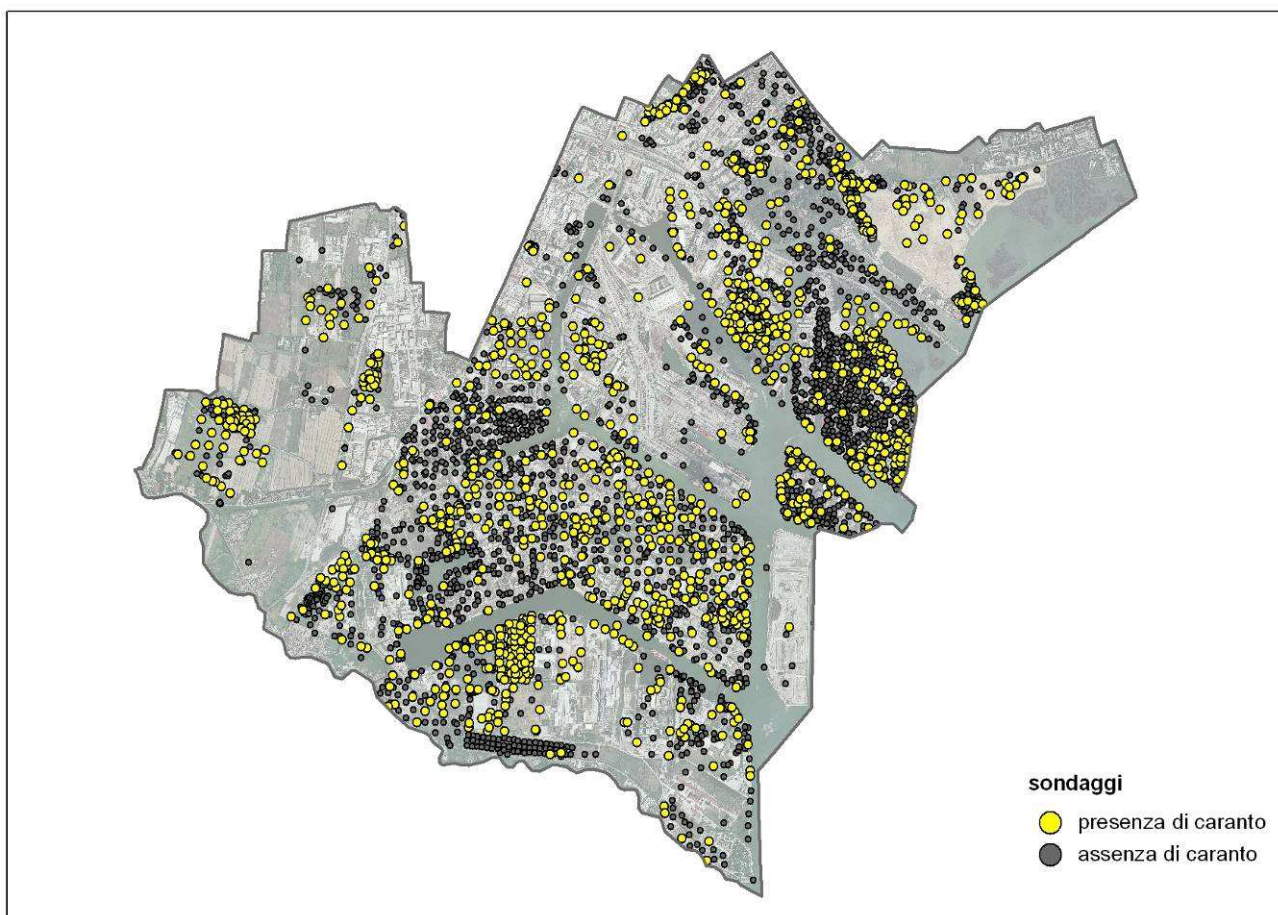


Figura 7.5.1 - Selezione dei carotaggi in funzione della presenza del caranto. I punti identificati con “assenza di caranto” si riferiscono ai punti in cui non si ha caranto oppure non è stato riconosciuto.

La discontinuità del caranto è da associare o all’erosione del paleosuolo da parte di corsi d’acqua successivi, ovvero ad un fatto pedogenetico, in quanto laddove i sedimenti sono più permeabili (principalmente nelle sabbie) non si sono verificate le condizioni, pedogenetiche appunto, per la sua formazione. Infatti la

formazione del caranto avviene per lisciviazione dei carbonati dalla superficie e il loro successivo accumulo nel primo strato impermeabile sottostante, con contestuale consolidazione per espulsione d'acqua (disseccamento ed alterazione per esposizione subaerea) dei sedimenti alluvionali limoso argillosi al tetto della serie continentale "wurmiana".

L'interpolazione dei punti in cui il caranto non è presente non dà risultati soddisfacenti, essendo i sondaggi con e senza caranto a volte mescolati fra loro e ciò potrebbe dipendere anche da una mancata descrizione da parte dell'operatore. Già dalla distribuzione dei punti senza caranto è evidente che il caranto non è presente con una certa continuità nelle due aree tra viale San Marco e la prima zona Industriale e a nord del canale industriale sud, dove, come verrà meglio illustrato nei paragrafi successivi, sono presenti due importanti corpi sabbiosi subaffioranti, andando ad avvalorare l'ipotesi "formazionale" dell'assenza del caranto.

Concentrando l'attenzione sulla presenza del caranto, laddove è stato riconosciuto e ipotizzando, quindi, una teorica continuità del livello, si può ottenere, dall'interpolazione (kriging ordinario) dei valori puntuali presenti nella banca dati stratigrafica in cui è stata riconosciuta la sua presenza, una mappa della profondità del tetto dello strato all'interno del Sito di Interesse Nazionale (Figura 7.5.2).

In questa mappa si può notare come il tetto del Caranto si approfondisca a partire dal settore nord-occidentale (dove risulta quasi affiorante), verso il settore sud-orientale dove raggiunge la massima profondità.

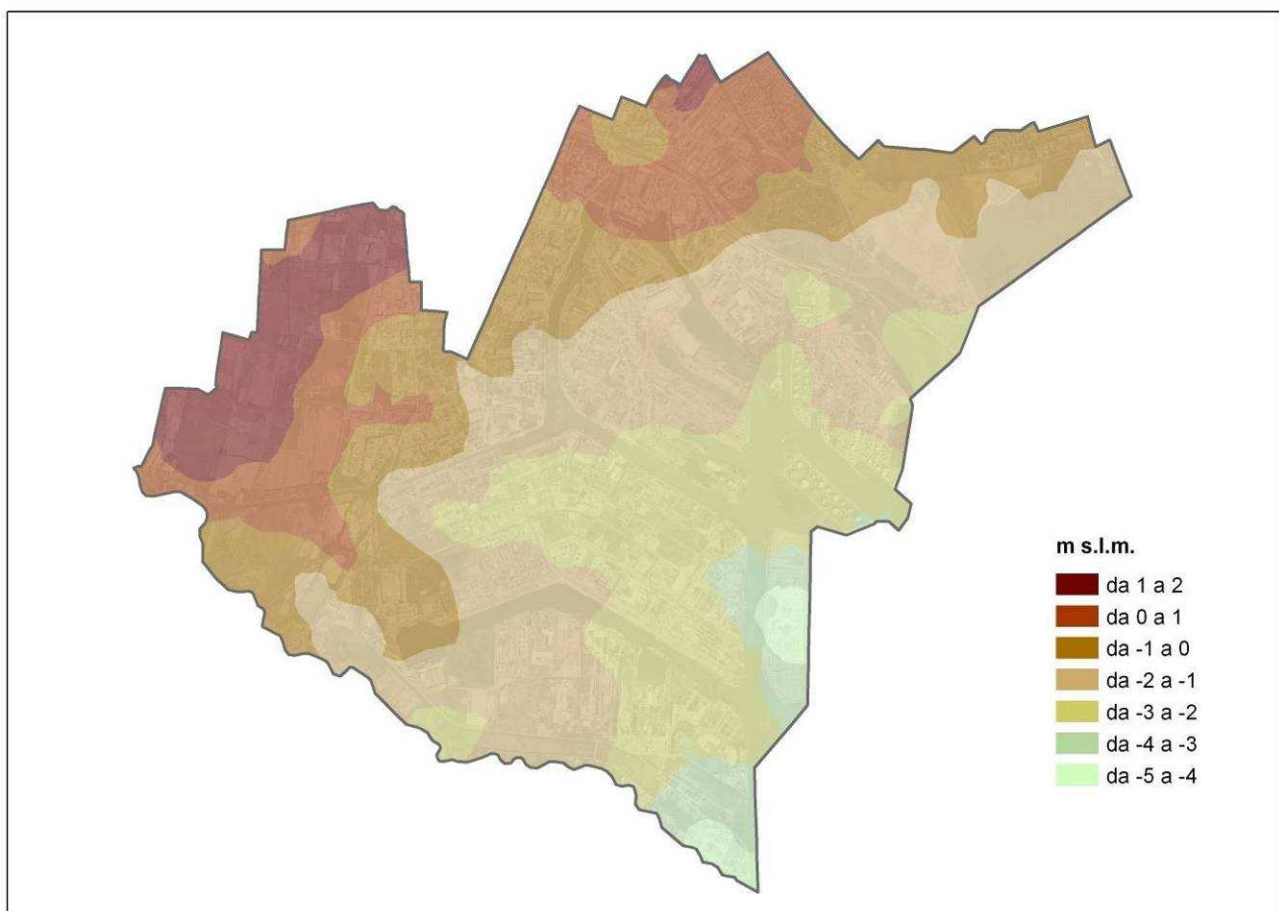
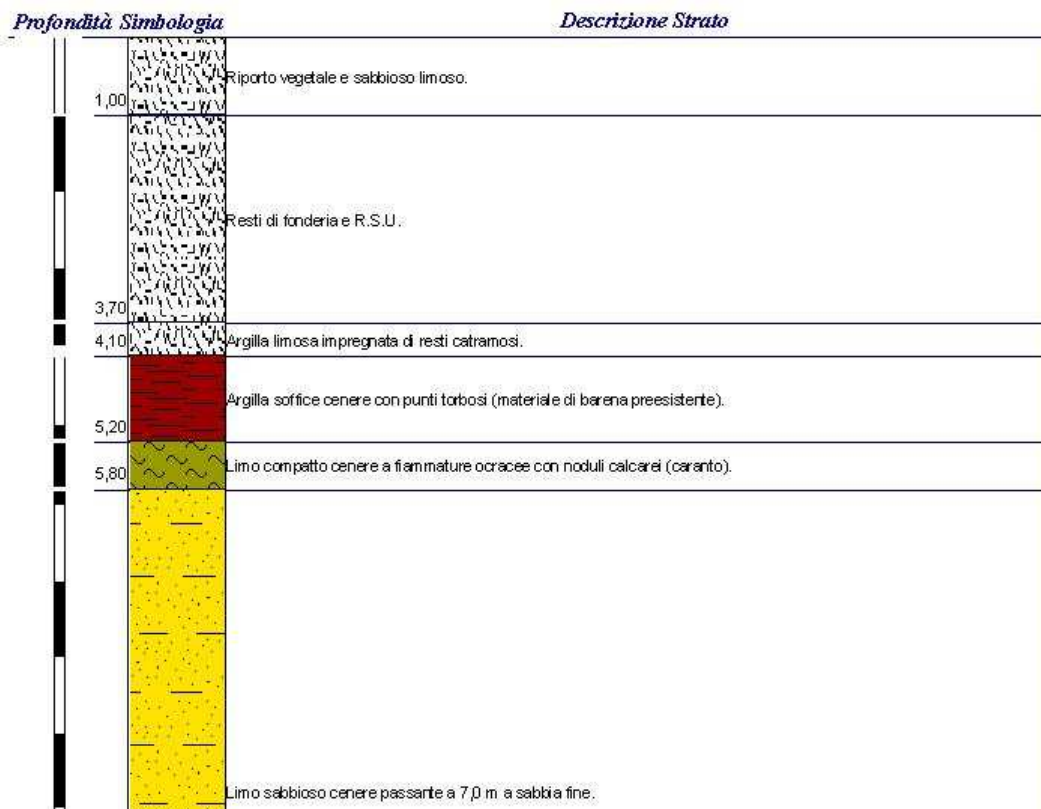


Figura 7.5.2 – Quota del tetto del caranto, espressa in m s.l.m., ottenuto per interpolazione

Per ottenere questo tipo d'informazione si sono utilizzate le stratigrafie associate ai sondaggi ubicati nell'area considerata e nel suo intorno; in particolare si sono estratti tutti quei sondaggi che nella descrizione stratigrafica presentavano uno o più strati definiti direttamente (codice litologico uguale a 1900) o indirettamente (caratteristiche tipiche ricavabili dalla descrizione stratigrafica) come "caranto", oppure uno o più strati contenenti concrezioni carbonatiche. Di tutti questi sondaggi è stato estrapolato il tetto dello strato o del pacchetto di strati espresso in m s.l.m.



Sondaggio n. 24153

La profondità del tetto del livello di caranto è pari a 5,20 m da piano campagna.

Nella tabella seguente si riporta uno stralcio dei sondaggi utilizzati con associate le informazioni necessarie alla realizzazione della mappa.

ID DATO	tetto da p.c.	QUOTA	tetto in mslm	GB fuso est X	GB fuso est Y
2736	0,8	2,35	1,55	2301974,94	5038814,33
2737	1	2,05	1,05	2302042,38	5038689,98
2739	1,05	2,05	1	2301981,26	5038470,79
2745	2,25	2,05	-0,2	2301879,04	5038348,55
3686	1	1,5	0,5	2298930,04	5033721,52
3688	3,3	1,5	-1,8	2298695,79	5033616,42
3689	2,3	0,5	-1,8	2298807,21	5033460,67
3690	3	0,5	-2,5	2298983,22	5033465,74
3691	1,2	0,5	-0,7	2298950,3	5033392,3
3705	0,9	1,24	0,34	2298584,1	5033737,52
3706	3,5	2,45	-1,05	2298566,04	5033570,86
3707	3,3	2,49	-0,81	2298595,6	5033570,04
3708	3,3	2,46	-0,84	2298581,64	5033570,86
3710	5,3	4,05	-1,25	2298863,24	5033661,17
3711	5,7	4,15	-1,55	2298879,66	5033542,13
3718	0	1,5	1,5	2300271,05	5035061,05
3740	0,4	-0,25	-0,65	2299103,85	5031558,05
3742	0,4	-0,75	-1,15	2298904,72	5031617,65
3744	0,4	-0,75	-1,15	2298855,96	5031498,44
3755	0,9	3,5	2,6	2297670,37	5038275,29
3758	0,3	3,5	3,2	2297775,75	5038209,92
3762	0	3,5	3,5	2297814,43	5038064,53
3766	0,3	3,5	3,2	2297703,72	5037993,84
3774	1,9	3,5	1,6	2297778,42	5038179,25
3782	0,4	2,5	2,1	2298121,95	5033124,28
3792	5,2	2,5	-2,7	2298879,81	5032923,04
3795	0	0,5	0,5	2298026,53	5032781,75
5281	5,1	3,5	-1,6	2303091	5034644
5284	5,5	3,42	-2,08	2302730	5035054
5286	3,9	2,69	-1,21	2303417	5035388

Tabella 7.5.3

7.6 Carta della distribuzione delle sabbie

Queste mappe, ottenute dall'interpolazione dei valori presenti nella banca dati stratigrafica della Provincia di Venezia, rappresentano la distribuzione della sabbia in un determinato territorio di riferimento, per un definito intervallo di profondità.

Lo scopo è evidenziare, attraverso metodi geostatistici, partendo da dati puntuali reali e considerando vari intervalli di profondità, la presenza o meno di corpi sabbiosi, sia nell'area centrale della Provincia di Venezia, sia, più in dettaglio, nell'area del Sito di Interesse Nazionale e nel suo intorno e la loro evoluzione, sia spaziale, sia temporale.

Questo tipo di elaborazione è stata possibile poiché ad ogni strato è stato associato un litotipo prevalente identificato da un opportuno codice numerico che definisce le % dei suoi componenti (secondo le classi previste dalle raccomandazioni A.G.I.); è così possibile associare ad ogni codice litologico una percentuale definita di ogni classe granulometrica.

In sostanza quindi per ogni strato, poiché esso è definito dal codice litologico, è associata una definita percentuale di sabbia, limo e argilla (tabella 7.6.1).

Tabella 7.6.1 – Esempio di conversione del codice litologico in composizione % di sabbia, limo e argilla

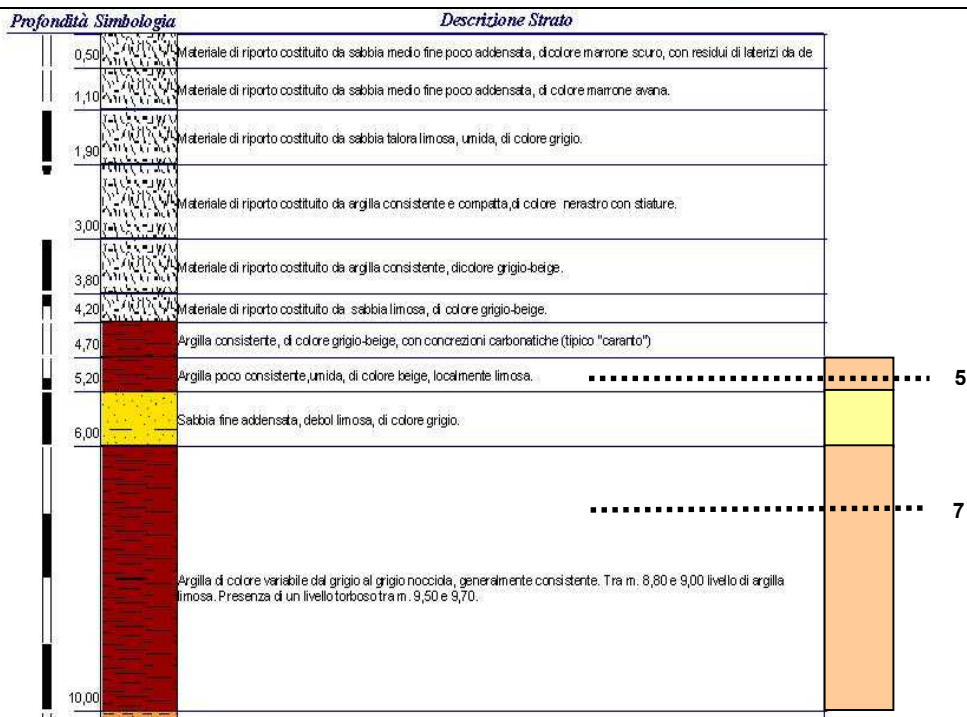
Codice litologico	Litotipo prevalente	% sabbia (A.G.I.)	% sabbia utilizzata	% limo (A.G.I.)	% limo utilizzato	% argilla (A.G.I.)	% argilla utilizzata
3120	Sabbia con limo	50-75	62,5	25-50	37,5	0	0
2210	Limo argilloso	0	0	75-95	85	5-25	15
3320	Sabbia debolmente limosa	95-100	95	0-10	5	0	0

Per la loro realizzazione si è proceduto con la seguente metodologia (tabella 6.6.2 e sondaggio 20031):

- per ogni intervallo di profondità considerato sono stati selezionati tutti i sondaggi, ricadenti nell'area di interesse, che hanno associata una descrizione stratigrafica;
- per ogni sondaggio considerato è stata calcolata la percentuale di sabbia di ogni suo strato ricadente totalmente o parzialmente nell'intervallo di profondità considerato;
- di ogni strato o frazione di strato è stato calcolato lo spessore in metri e lo spessore percentuale rispetto allo spessore considerato (2 metri oppure, per alcune realizzazioni, 4 metri);
- ad ogni strato o frazione di strato è stata assegnata la percentuale di sabbia come definita dal codice litologico;
- la percentuale di sabbia è stata poi ricalcolata su tutto lo spessore (2 metri, oppure per alcune realizzazioni. 4 metri);

Tabella 7.6.2

ESEMPIO RELATIVO AD UN SINGOLO SONDAGGIO (è stata considerata una profondità da 5 a 7 m da p.c.)										
codice sondaggio	numero strato	profondità tetto (m)	profondità letto (m)	spessore (m)	spessore strato o frazione di strato (m)	spessore strato (%)	codice litologico	sabbia %	tot-sabbia %	
						spessore strato (m)/spessore totale (2 m); il tutto moltiplicato per 100		la % granulometrica riferita ad ogni singolo strato tiene conto dello spessore del lo strato (sabbia %/ 100)*(spessore strato %)		
20031	8	4,70	5,20	0,50	0,20	letto - 5 m	1400	0	0	
20031	9	5,20	6,00	0,80	0,80	ug uale al campo spessore	3320	95	38	
20031	10	6,00	10,00	4,00	1,00	7 m - tetto	1400	0	0	
20031					2,00				38,00	



Sondaggio n. 20031

Nell'esempio di tabella 6.5.2, sono stati considerati i tre strati compresi tra 5 e 7 m dal p.c.

Per ogni intervallo di profondità considerato viene dapprima visualizzata l'ubicazione di tutti i sondaggi utilizzati (vedi Figura 7.6.3).

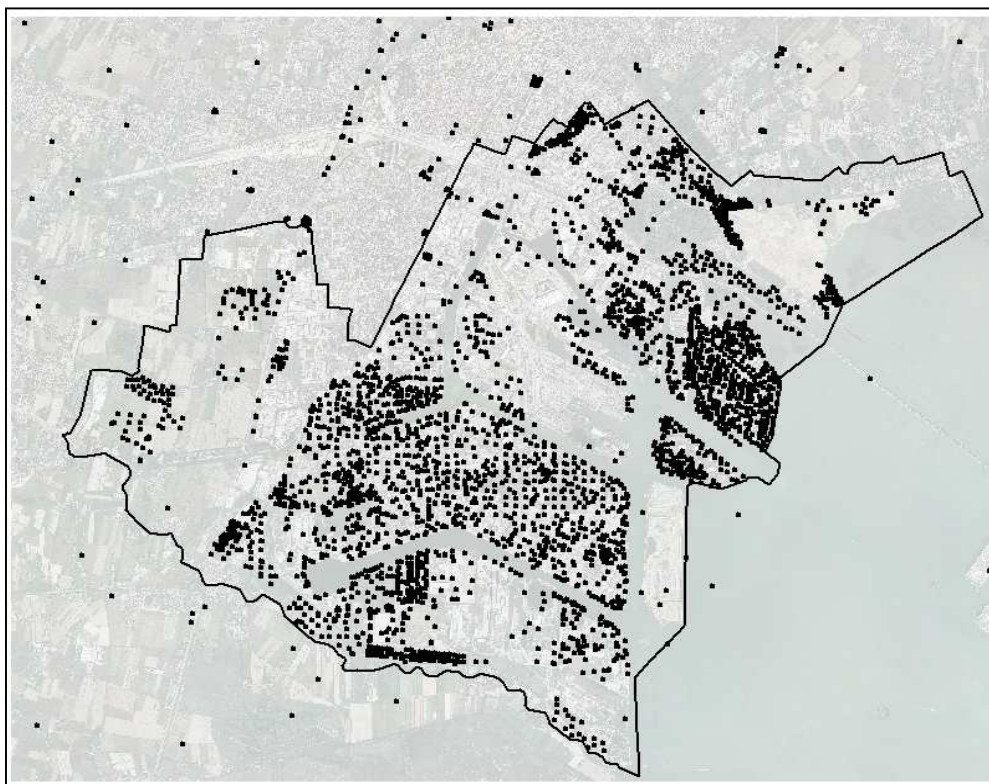


Figura 7.6.3 - Area S.I.N. e immediato intorno; ubicazione dei sondaggi utilizzati considerando un intervallo di profondità da -1 a -3 m s.l.m.

In seguito per ogni intervallo di profondità considerato tutti i sondaggi utilizzati vengono tematizzati in base al % di sabbia che è stata calcolata; viene così realizzata una carta puntuale della distribuzione delle sabbie (vedi Figura 7.6.4)

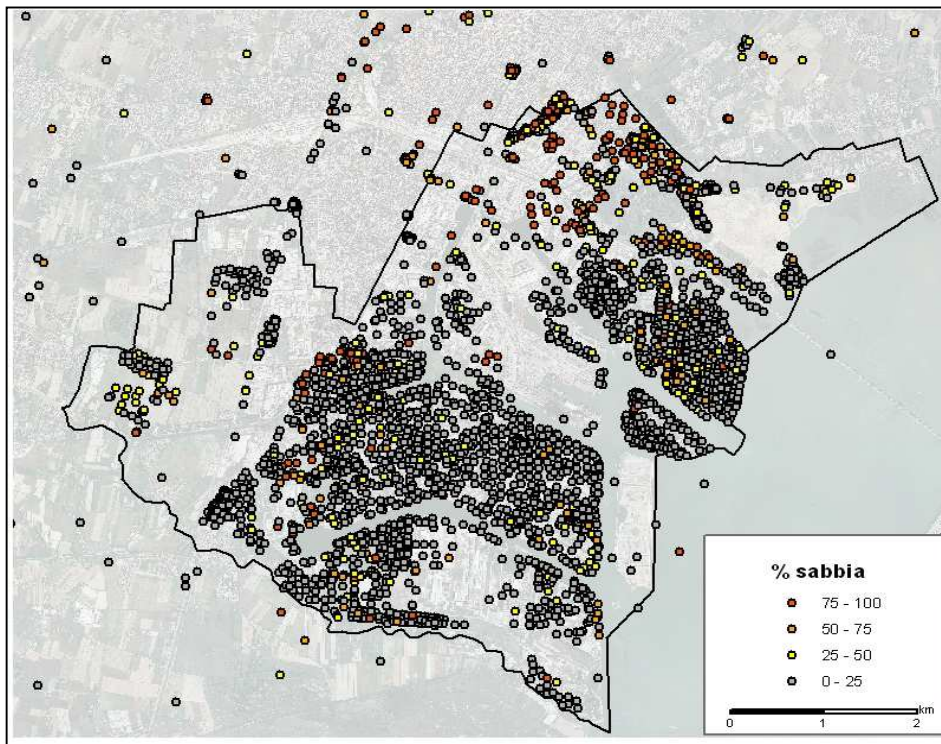


Figura 7.6.4 - Area S.I.N. e immediato intorno tematizzazione dei sondaggi utilizzati considerando un intervallo di profondità a partire da -1 a -3 m s.l.m.

Infine, per ogni intervallo di profondità considerato, i dati puntuali vengono interpolati attraverso opportuni algoritmi (kriging ordinario) al fine di realizzare mappe areali di distribuzione delle sabbie (vedi Figura 7.6.5).

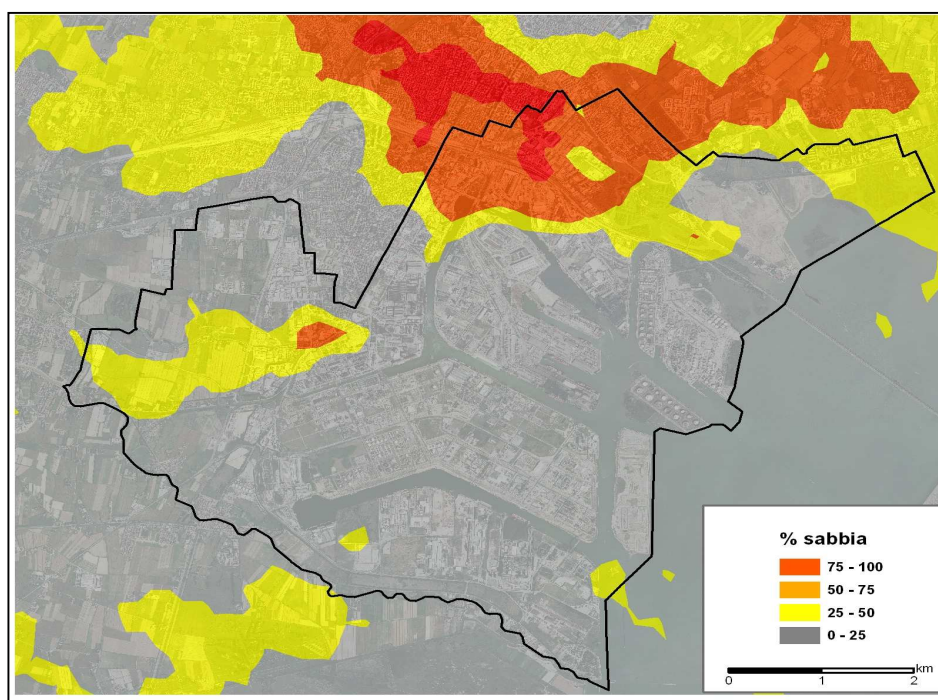


Figura 7.6.5 -Area S.I.N. e immediato intorno mappa della distribuzione delle sabbie in un intervallo di profondità da -1 a -3 m s.l.m.

Sono state realizzate complessivamente le seguenti mappe (vedi Figure 7.6.6 e tavole allegate):

- distribuzione delle sabbie da 5 a 21 m dal piano campagna (intervalli di 2 m) nell'area centrale della provincia di Venezia.
- distribuzione delle sabbie da 21 a 25 m dal piano campagna (intervallo di 4 m) nell'area centrale della provincia di Venezia.
- distribuzione delle sabbie da -1 a -21 m s.l.m. (intervalli di 2 m) nell'area S.I.N e suo immediato intorno.

Le mappe a più piccola scala estese su tutta l'area centrale della Provincia di Venezia, realizzate considerando intervalli di profondità a partire dal piano campagna, permettono di contestualizzare la situazione geologica specifica dell'area S.I.N. visualizzata con le mappe a più grande scala. Queste ultime, essendo realizzate ad una scala di maggior dettaglio e, quindi, essendo rilevante la non uniformità della superficie topografica (vedi paragrafo 7.3), si è preferito realizzarle utilizzando profondità assolute (m s.l.m.) così da poter correlare correttamente tra loro i corpi sabbiosi.

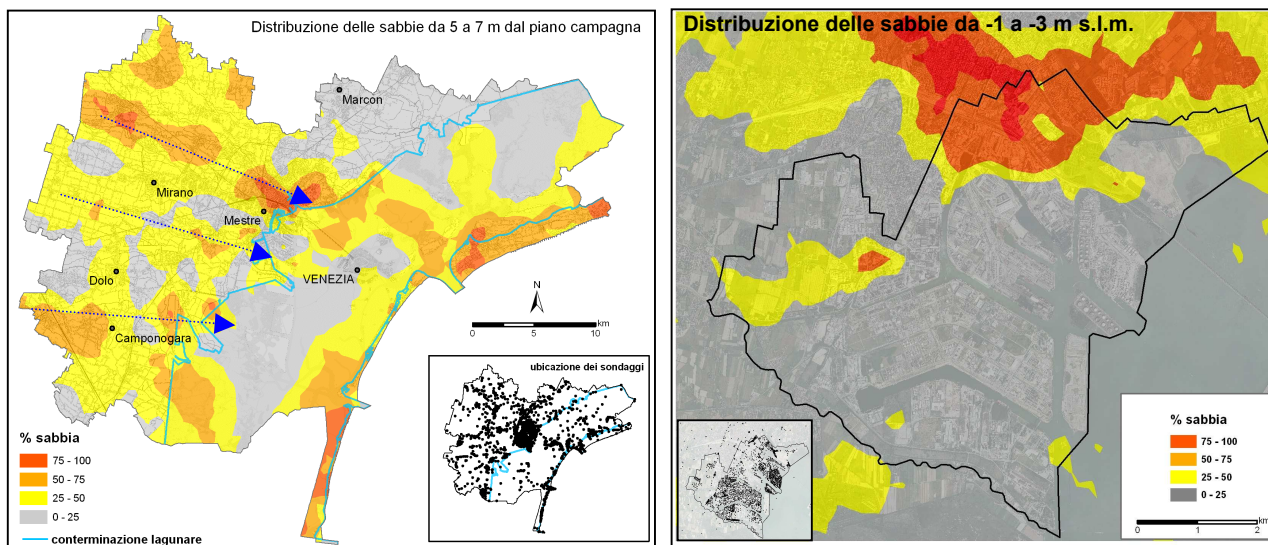
Di seguito vengono messe a confronto le due interpolazioni, a scala provinciale (riferita al piano campagna) e a scala di SIN (riferita alle quote sul livello mare – considerato che gran parte del piano campagna ha quote comprese tra 3 e 4 m s.l.m. – si veda per questo il micro rilievo elaborato nel paragrafo 7.3), in modo che i livelli considerati siano più o meno gli stessi.

Si evidenzia che la lettura delle mappe di seguito riportate procede dai livelli più superficiali a quelli più profondi, così come generalmente si è abituati a procedere con l'esecuzione dei carotaggi, fornendo, quindi, una visione che va dalle deposizioni più recenti a quelle più antiche.

Volendo ripercorrere invece la storia deposizionale dell'area si consiglia di partire dagli strati più profondi, alla fine, fino a quelli più superficiali.

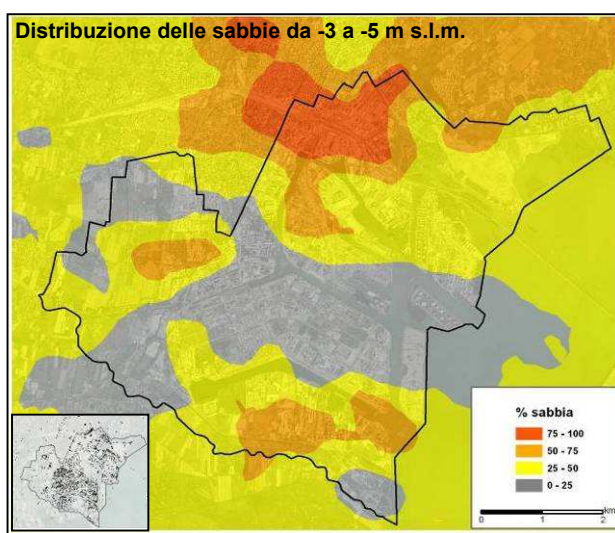
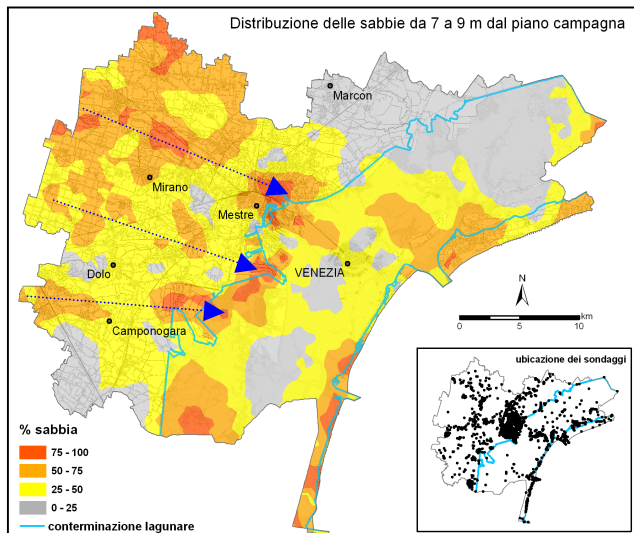
Una visione di insieme delle mappe prodotte è riportata nella allegata tavola in formato A0.

Figure 7.6.6

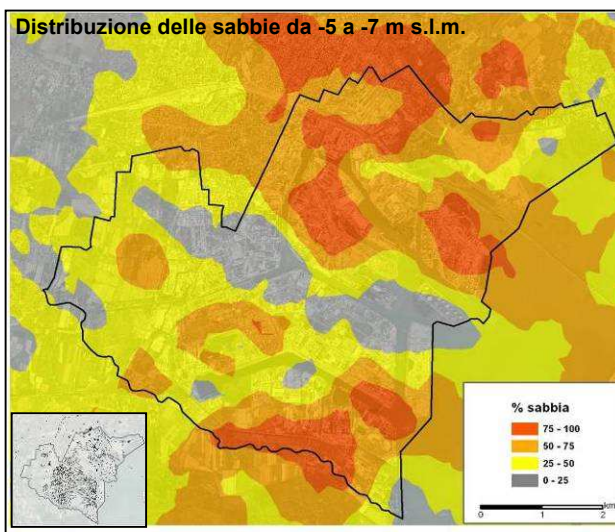
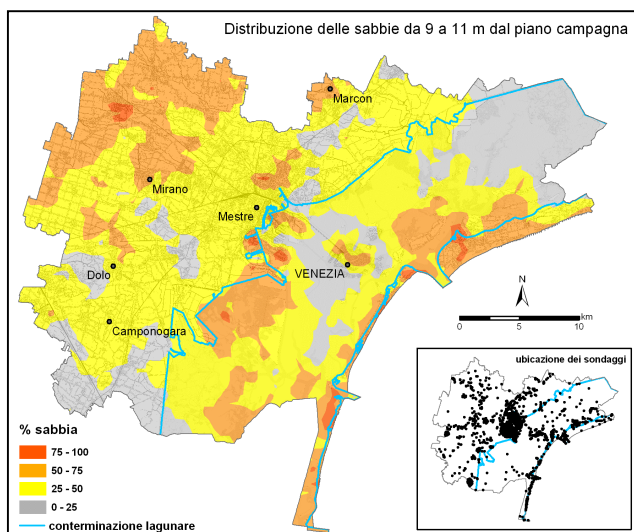


La mappa relativa all'area centrale della Provincia di Venezia evidenzia la presenza di corpi sabbiosi aventi direzioni all'incirca NO-SE ed E-O che rispecchiano le direzioni dei principali fiumi presenti nel territorio provinciale, alternati ad aree a basso contenuto sabbioso.

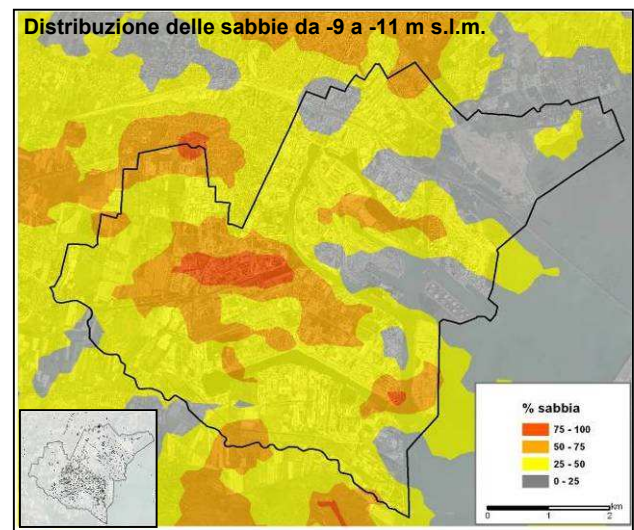
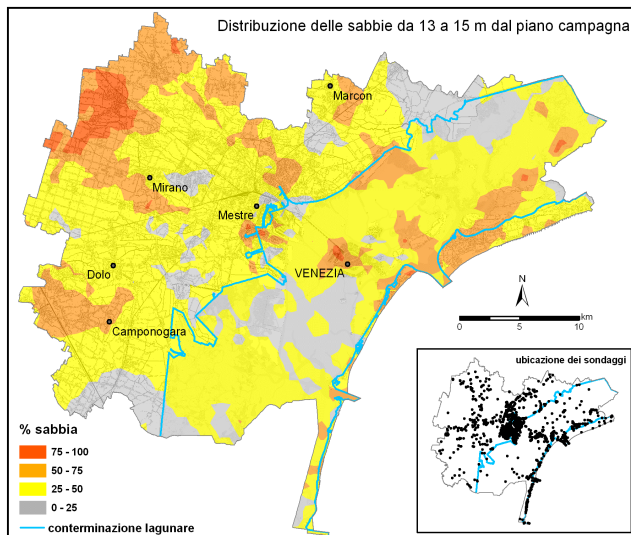
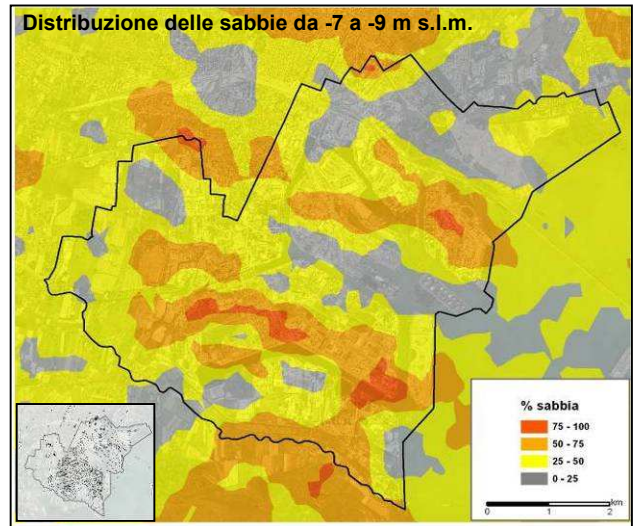
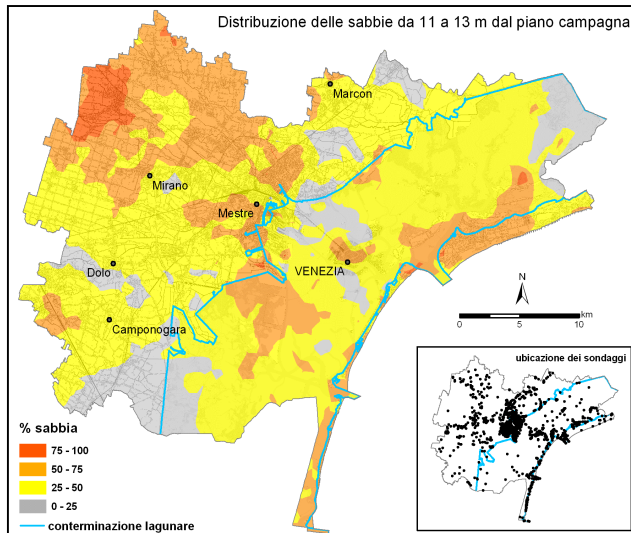
In particolare nell'area del Sito di Interesse Nazionale si evidenzia un corpo sabbioso (con alta % di sabbia) nella porzione nord; la rimanente area, ad esclusione di una piccola porzione a ovest, risulta a basso contenuto sabbioso.



La mappa relativa all'area centrale della Provincia di Venezia evidenzia sempre la presenza di corpi sabbiosi aventi direzioni all'incirca NO-SE ed E-O che rispecchiano le direzioni dei principali fiumi presenti nel territorio provinciale, alternati ad aree a basso contenuto sabbioso. In particolare nell'area del Sito di Interesse Nazionale si evidenzia la persistenza del corpo sabbioso (con alta % di sabbia) nella porzione nord; nella rimanente area, la sabbia persiste nella porzione a ovest e aumenta nella porzione sud, mentre risulta a basso contenuto sabbioso in tutta la porzione centrale.

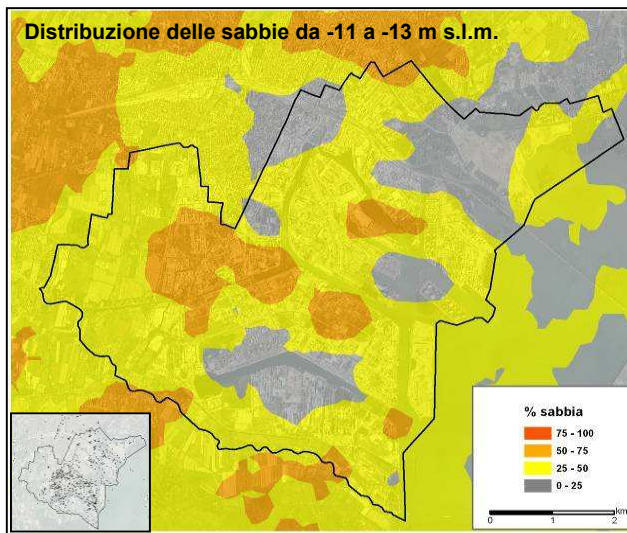
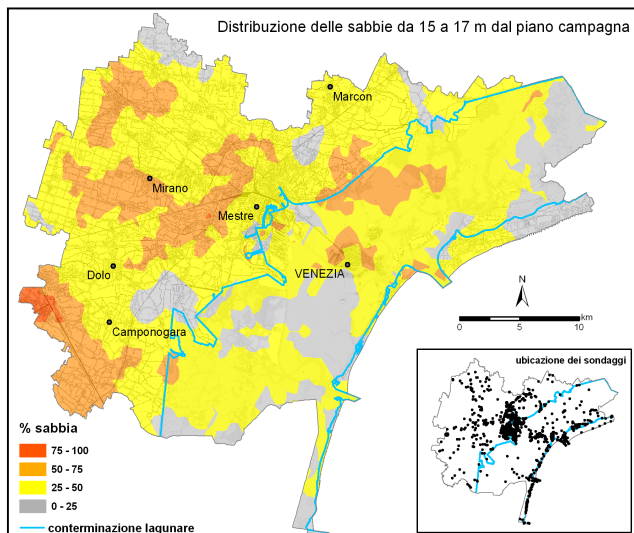


Nella mappa relativa all'area centrale della Provincia di Venezia non si riconoscono più particolari strutture ma la sabbia risulta distribuita in modo più uniforme ed è comunque ancora piuttosto abbondante. In particolare nell'area del Sito di Interesse Nazionale si evidenzia un aumento della presenza di sabbia con l'instaurarsi di due corpi sabbiosi, a nord ed a sud, mentre risulta a basso contenuto sabbioso solo in una piccola porzione centrale.

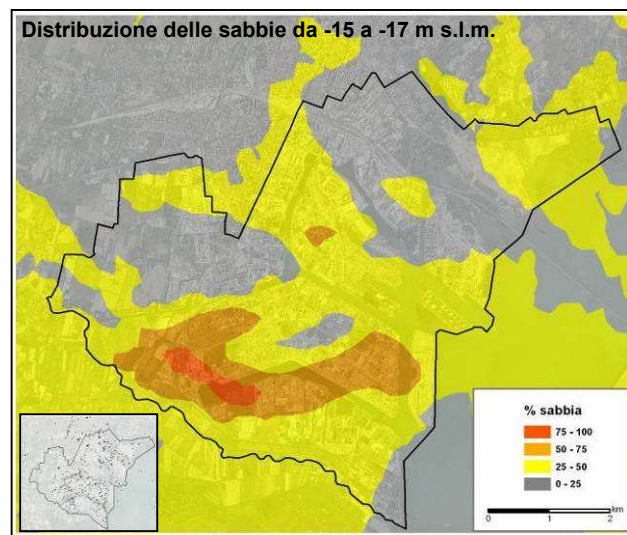
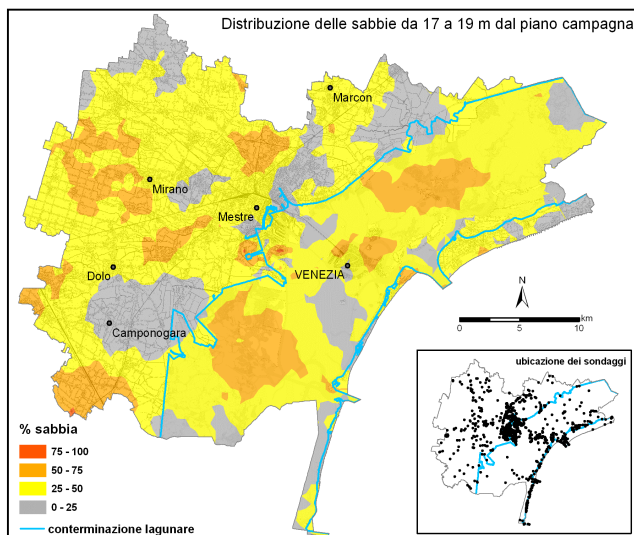


Nelle mappe relative all'area centrale della Provincia di Venezia non si riconoscono più particolari strutture ma la sabbia risulta distribuita in modo più uniforme ed è comunque ancora piuttosto abbondante.

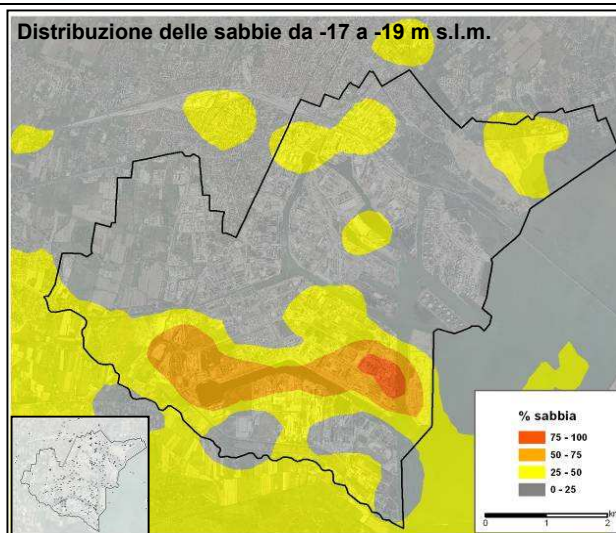
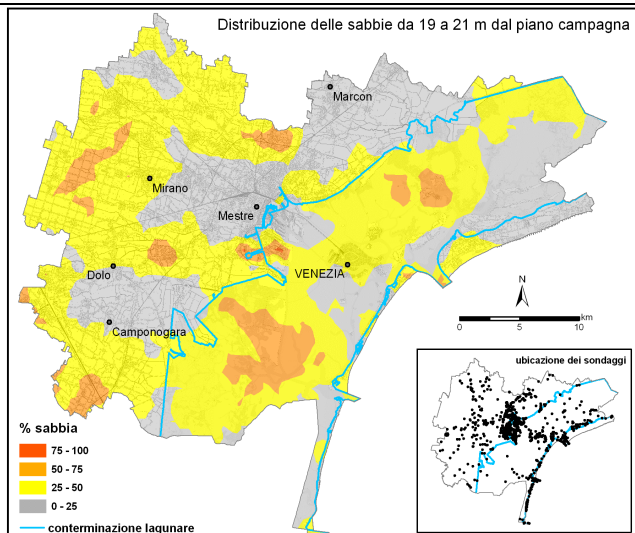
In particolare nell'area del Sito di Interesse Nazionale si evidenzia la persistenza del corpo sabbioso a sud, mentre il corpo sabbioso settentrionale risulta spostato leggermente verso sud; risulta a basso contenuto sabbioso una sempre più piccola porzione centrale e la porzione settentrionale.



Nella mappa relativa all'area centrale della Provincia di Venezia non si riconoscono più particolari strutture ma la sabbia risulta distribuita in modo più uniforme ed è comunque ancora piuttosto abbondante. In particolare nell'area del Sito di Interesse Nazionale si evidenzia una presenza diffusa di sabbia ad esclusione sempre della porzione settentrionale e inoltre di due piccole porzioni a centro sud.

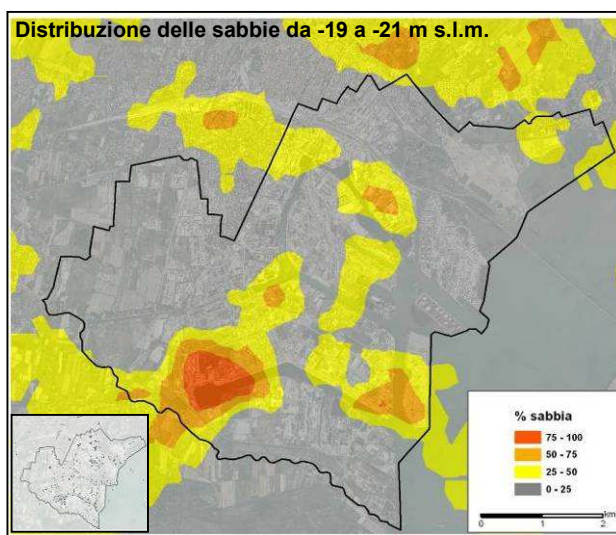
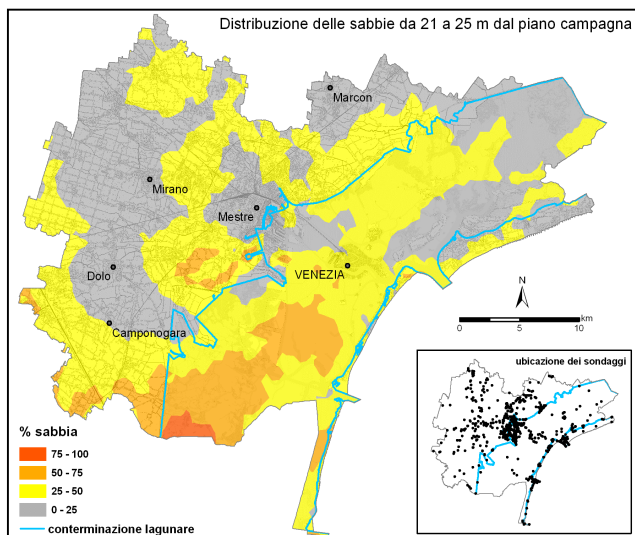


Nella mappa relativa all'area centrale della Provincia di Venezia non si riconoscono più particolari strutture ma la sabbia risulta distribuita in modo più uniforme ed è comunque ancora piuttosto abbondante. In particolare nell'area del Sito di Interesse Nazionale si evidenzia la presenza di corpo sabbioso (alta % sabbiosa) nella porzione meridionale; la sabbia persiste nell'area centrale, mentre è quasi assente a nord ed a ovest.



Nella mappa relativa all'area centrale della Provincia di Venezia non si riconoscono più particolari strutture e il contenuto sabbioso sembra diminuire.

In particolare nell'area del Sito di Interesse Nazionale si evidenzia la persistenza di corpo sabbioso (alta % sabbia) nella porzione meridionale; nella rimanente area la sabbia è quasi assente.



Nella mappa relativa all'area centrale della Provincia di Venezia non si riconoscono particolari strutture e il contenuto sabbioso sembra sempre più diminuire.

In particolare nell'area del Sito di Interesse Nazionale si evidenzia una riduzione del corpo sabbioso (alta % sabbia) nella porzione meridionale, nella rimanente area la sabbia è quasi assente salvo alcune piccole aree locali e l'area a nord del S.I.N.

7.7 Profili geologici

7.7.1 Scelta delle sezioni e della metodica di elaborazione

La ricostruzione dei profili geologici si è basata sui dati stratigrafici contenuti nella banca dati del Servizio Geologico Provinciale. Come già visto al capitolo 6, si tratta di una banca dati, frutto di anni di lavoro, con un numero notevolissimo di stratigrafie che sono state standardizzate e verificate da personale esperto in geologia, ed informatizzate secondo codifiche appositamente messe a punto.

Questo eccezionale serbatoio di informazioni ha permesso di affrontare in modo adeguato anche l'interpretazione di una realtà geologica complessa quale quella di Porto Marghera.

Al fine di una corretta interpretazione dei dati, basata su una logica sedimentologica e mai puramente geometrica, si specifica che la densità delle stratigrafie nell'area di studio non è regolare: ci sono settori dove è più elevato il grado di interpretazione per la particolare densità di sondaggi; mentre mancano informazioni sul sottosuolo in corrispondenza delle aree che non sono state ancora interessate dalla realizzazione dei piani di caratterizzazione ambientale.

Le aree più vaste prive di caratterizzazione del sottosuolo sono l'area del porto commerciale, le aree cosiddette agricole e che coprono la parte più occidentale del SIN, l'area industriale e commerciale a sud di Marghera e a est della tangenziale, gran parte delle aree della prima zona industriale a est di Via Fratelli Bandiera, le aree Alcoa Trasformazioni ed ex-Alumix a Fusina, l'area di Forte Marghera, l'Isola Campalto-Osellino. Per la maggior parte di queste aree sono in corso od imminenti le caratterizzazioni.

Inoltre esistono aree che sono prive o contano pochi sondaggi più profondi di 15 m, come la Penisola delle Raffinerie e l'area meridionale del Parco San Giuliano.

Viceversa, i margini lagunari e le aree lungo i canali di grande navigazione portuale hanno una notevole copertura di sondaggi, la maggior parte dei quali profondi, in relazione alle indagini svolte dal MAV.

Si ricorda che, come illustrato al capitolo 6, nella banca dati provinciale, gli strati che compongono la stratigrafia, sono codificati secondo una tabella di codifiche litologiche appositamente messa a punto per la banca dati del servizio geologico provinciale, basata su codici numerici che permettono di risalire alle percentuali delle diverse classi granulometriche (argilla, limo, sabbia, ghiaia, sedimenti organici, riporti...) presenti (Figura 6.1.2.1).

La sintesi interpretativa del sottosuolo dell'area della terraferma veneziana attorno al Sito di Interesse Nazionale di Porto Marghera è stata quindi svolta attraverso l'analisi comparata di circa 1700 stratigrafie con profondità maggiori di 10 m (Figura 7.7.1.1); 835 delle quali, le più profonde, compongono 20 profili geologici seriat.

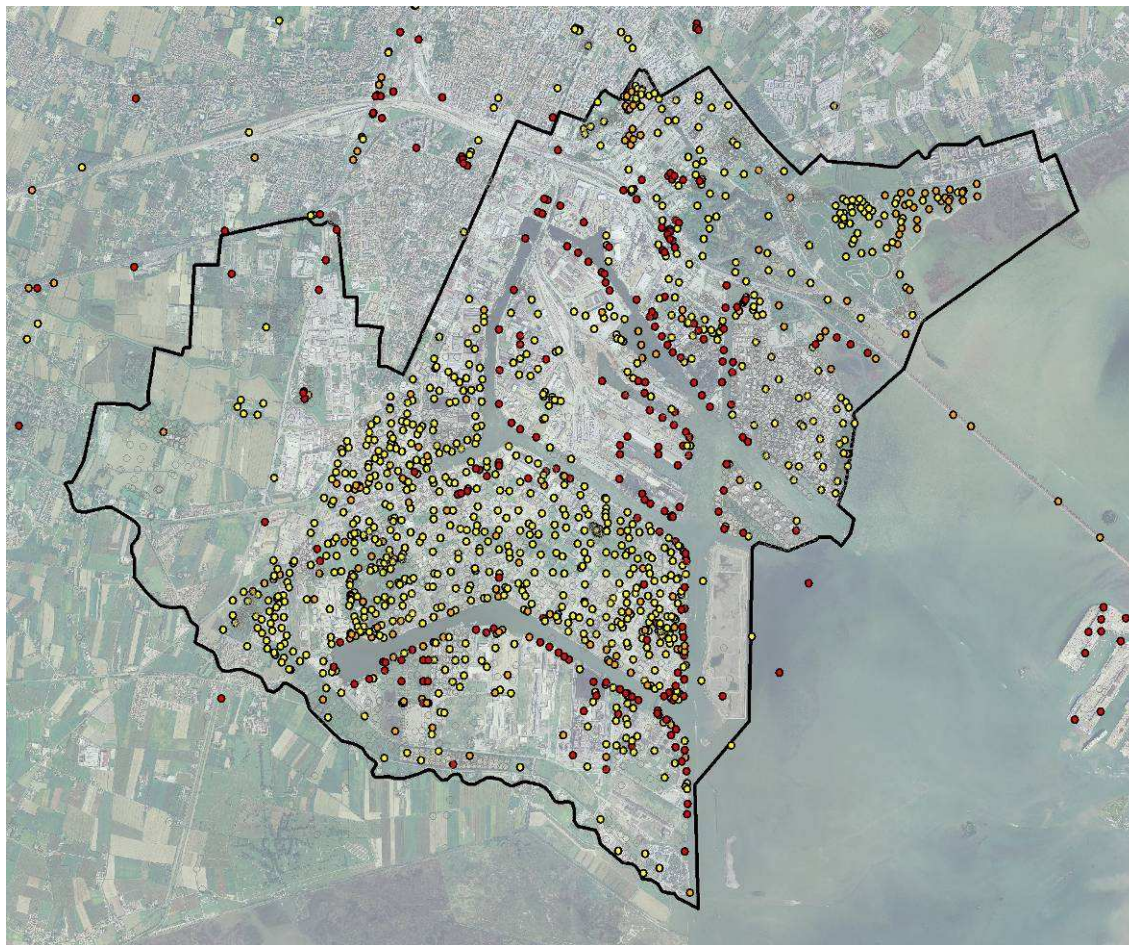


Figura 7.7.1.1 – Ubicazione delle stratigrafie utilizzate per l'interpretazione geologica dell'area

L'analisi geologico-stratigrafica, realizzata mediante la costruzione dei citati profili geologici seriat, ha seguito il seguente percorso metodologico:

- La colonna stratigrafica, informatizzata secondo la suddetta codifica, è descritta graficamente da retini che sono variamente accorpati con colori in base alle caratteristiche di permeabilità correlate alle classi granulometriche e, quindi, al codice numerico che le descrive, di cui si è ampiamente parlato in precedenza (codifica in capitolo 6 con tabella colorimetrica comprensiva di valori di permeabilità). Il colore giallo indica le granulometrie più grossolane fino alla sabbia con limo; arancio è il colore dei litotipi semi-impermeabili fino alla granulometria caratteristica del limo sabbioso; verde è il colore dei litotipi semi-impermeabili fino al limo; marrone è il colore dei litotipi più fini.
- Identificazione di 10 profili di direzione S-N e 10 profili di direzione W-E (Figura 7.7.1.2), disposti in maniera parallela (E-W) e ortogonale (N-S) all'assetto regionale dei sistemi morfo-sedimentari già conosciuti in bibliografia (con particolare riferimento al progetto Geosinpav). La scelta dei tracciati dei profili è stata fatta anche cercando di interessare zone di particolare importanza all'interno del SIN nonché l'effettiva esistenza di dati stratigrafici. L'area SIN è perciò coperta da una maglia di forma all'incirca rettangolare, con asse maggiore di direzione NNE-SSW di lunghezza circa 7 km e asse minore di circa 6,5 km. La distanza media fra i profili è di circa 500 m.
- Utilizzo del programma Sondazio, già utilizzato nella prima fase del Progetto, per la creazione dei profili stratigrafici a partire dalla banca dati stratigrafica. Una selezione di stratigrafie profonde, o

comunque giudicate significative, è stata utilizzata per elaborare i citati profili serati. Non sono state considerate le stratigrafie che non posseggono i requisiti qualitativi minimi di completezza della descrizione effettuata in cantiere (tale problema era già stato documentato durante la prima fase della indagine). I profili contano da venti a sessanta stratigrafie ciascuno, a seconda della densità dei dati presenti nel territorio attraversato.

- Le singole sezioni geologiche ottenute dal programma Sondazio sono rappresentate secondo piani ortogonali xz e yz, che non rispecchiano quindi integralmente l'andamento reale del profilo sulla carta ma ne costituiscono una proiezione. Per le necessità di prima interpretazione dell'assetto geologico è considerato sufficiente operare alcuni ritocchi grafici manuali per considerare le reali distanze relative delle stratigrafie. I profili sono stati salvati su file e quindi stampati su carta.
- Interpretazione dell'andamento degli strati a diversa granulometria correlando graficamente in carte di lavoro i limiti fra i litotipi con caratteristiche di permeabilità omogenee e separando strati a granulometria più grossolana da quelli più fini. Inoltre sono stati evidenziati gli strati e le lenti torbose significative, gli strati sovraconsolidati e le concrezioni, la presenza di fossili.

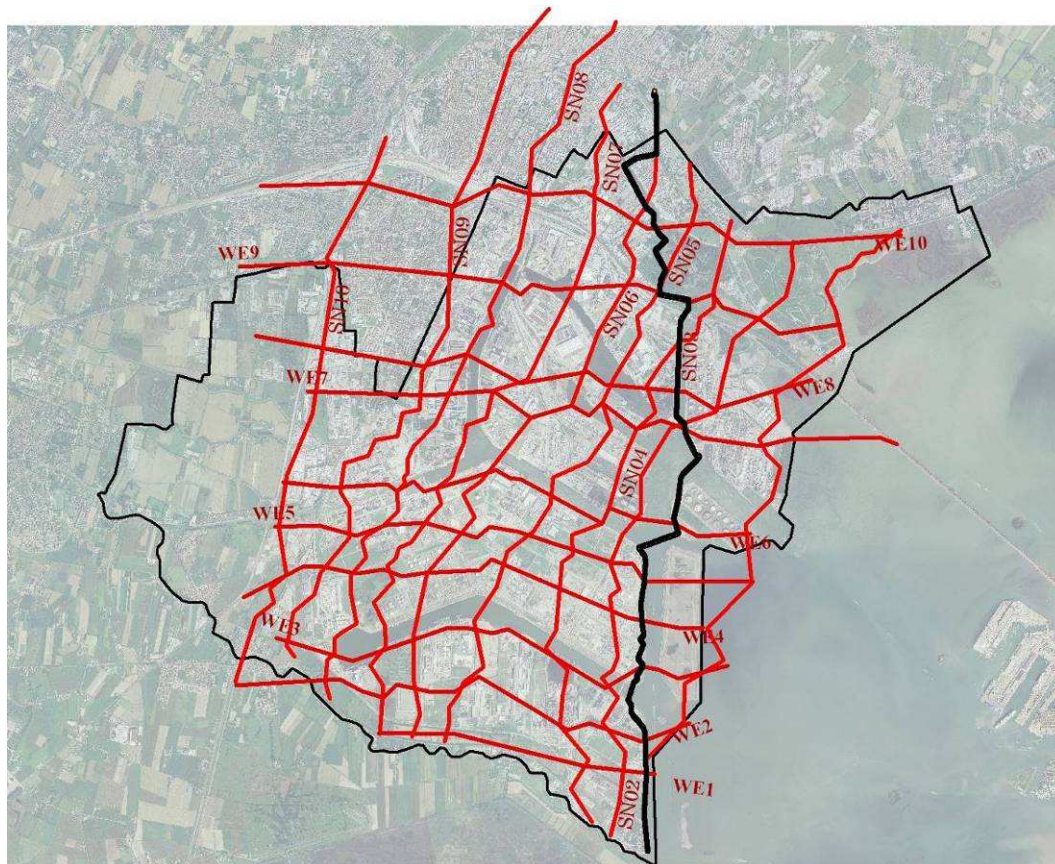


Figura 7.7.1.2 - Ubicazione delle sezioni stratigrafiche utilizzate per l'interpretazione geologica dell'area

7.7.2 Descrizione delle sezioni

7.7.2.1 Profili di direzione S – N

I profili sono tracciati da sud (sinistra delle figure) a nord (destra) e numerati dal n°1 – il profilo più orientale – segnato lungo il bordo lagunare dell'Isola delle Trezze e dei Petroli, della Penisola delle Raffinerie e dell'area di San Giuliano, al n°10 – il profilo più occidentale - che attraversa l'abitato di Malcontenta e prosegue verso nord con un tracciato che ricalca, a partire circa dal suo innesto con la S.S. Romea, la parte meridionale della tangenziale di Mestre fino al cavalcavia della ferrovia.

Questa serie di profili è circa ortogonale all'assetto regionale dei sistemi morfo-sedimentari in quest'area di bassa pianura.

I profili realizzati, soprattutto nelle aree con dati quantitativamente e qualitativamente adeguati, riescono a fornire importanti informazioni sull'esistenza di alcuni sistemi sedimentari sabbiosi principali, sulla profondità e continuità laterale degli strati e sulla interconnessione tra i diversi corpi sabbiosi. In particolare si evidenziano le possibilità di interscambio tra i diversi corpi permeabili presenti nel sottosuolo.

Le seguenti sintetiche descrizioni sono corredate dai profili, ripresi direttamente dalle carte di lavoro che sono state la base dell'analisi e interpretazione stratigrafica. I profili sono visibili anche nelle cartografie in allegato ad una scala maggiore.

Gli stessi profili sono poi stati informatizzati (si vedano i paragrafi successivi), inserendo alcune semplificazioni.

Riconoscimento di quattro strutture sabbiose principali

Dai profili elaborati possono essere riconosciute e rappresentate quattro strutture (o sistemi) morfo-sedimentarie principali a granulometria grossolana. Questi sistemi sono caratterizzati da almeno una successione continua di sabbie e sabbie limose di spessore maggiore a 6 m.

La sedimentazione è relativamente grossolana con granulometrie che variano dai limi sabbiosi alla sabbia media-grossolana con una netta prevalenza delle sabbie fini e medio fini più o meno limose.

I quattro sistemi sono dati dalla sovrapposizione in aree più o meno ristrette di diversi corpi sabbiosi, talora intercalati da strati a sedimentazione limosa argillosa ed eventuale presenza di torbe. I corpi sono interrotti lateralmente da tratti a prevalente deposizione fine e possono chiudersi piuttosto nettamente o mantenere una continuità laterale ma spessori più modesti.

Non tutti i profili evidenziano le 4 strutture sedimentarie principali dell'area perché la densità delle stratigrafie, soprattutto quelle più profonde di 15-20 m, non è regolare e ci sono numerose interruzioni di informazioni sul sottosuolo. Perciò, lungo i singoli profili, alcune situazioni possono essere rappresentate meglio più di altre.

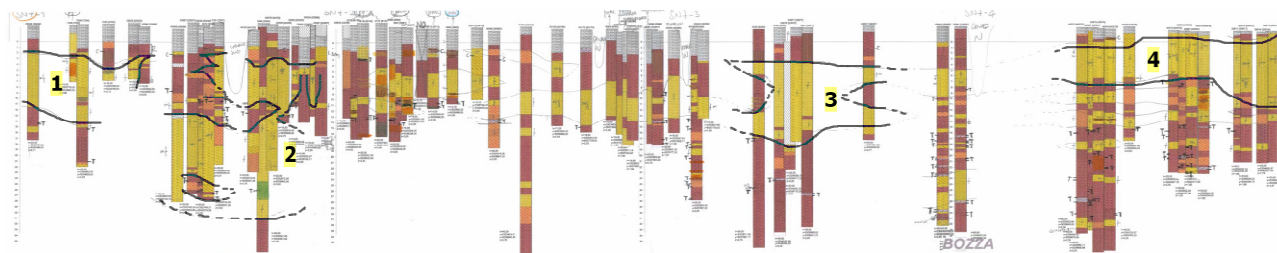
Il profilo SN7 tracciato da Sud (a sinistra nella Figura e relativo all'area del Naviglio Brenta) a Nord (a destra e relativo all'area di Mestre situata attorno al ponte di Via Vespucci sull'Osellino) mette in evidenza i 4 corpi sabbiosi principali:

1 - situato proprio in corrispondenza del Naviglio Brenta (corpo sabbioso di Fusina) è un corpo piuttosto tabulare con spessori massimi compresi fra -2 e -13 m s.l.m. e larghezza incerta poiché il limite sud risulta non definito;

- 2 – posizionato nel sottosuolo della darsena sud dell'area industriale di Porto Marghera (corpo sabbioso di Malcontenta), è una successione di corpi sabbiosi sovrapposti di larghezza totale attorno a 800 m, con una parte profonda compresa circa fra -10 e (unico dato disponibile in questa sezione) -30 m s.l.m., collegata ad una parte più superficiale e spostata di qualche centinaio di metri verso nord, di spessore analogo e tetto a circa -3 m s.l.m. Spostandosi verso est, esso tende a dividersi in due distinti corpi sabbiosi separati da un livello di sedimenti fini analogamente a quanto riscontrato anche nella penisola della chimica.
- 3 – situato in corrispondenza dell'area ferroviaria del porto commerciale (corpo sabbioso dell'area portuale), è un corpo sabbioso largo circa 400 m e di spessore compreso fra -3 e -18 m s.l.m.;
- 4 – situato in corrispondenza dell'area sud-orientale di Mestre (corpo sabbioso di viale San Marco) attraversata da Via Forte Marghera e Viale San Marco, questo corpo sabbioso tabulare di larghezza imprecisata ma sicuramente superiore a 1200 m e spessore attorno a 8/9 m, è sub-superficiale (con quote del tetto comprese fra +1 e 0 s.l.m.) e verso l'area dell'Osellino a nord presenta un approfondimento con le quote del letto attorno a 12 /13 m s.l.m.

Per le interconnessioni tra loro, i corpi sabbiosi riconosciuti potrebbero essere ricondotti a due principali, uno più a sud (1- corpo sabbioso di Fusina e 2 - corpo sabbioso di Malcontenta), l'altro più a nord (3 - corpo sabbioso dell'area portuale e 4 - corpo sabbioso di viale San Marco).

Profilo SN7

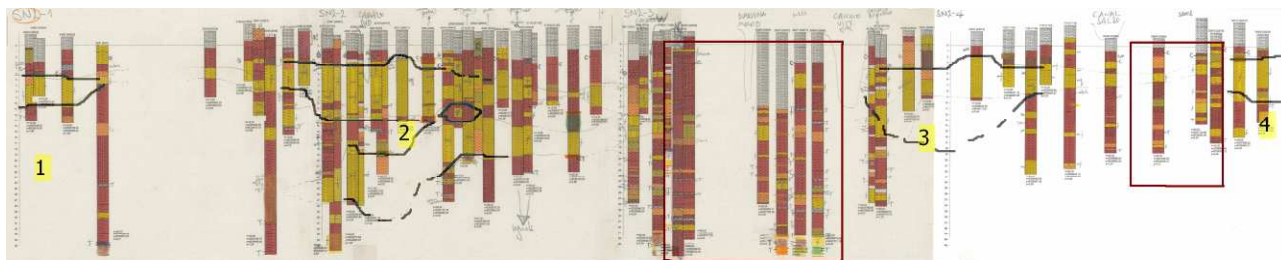


I corpi sabbiosi non mantengono un'identica fisionomia lungo tutti i profili tracciati proprio per le loro stesse modalità di formazione, ma le aree con una prevalenza di deposizione grossolana seguono direzioni all'incirca costanti.

Le strutture principali e le aree con assenza di corpi sabbiosi significativi.

Il profilo SN2 ripete lo schema già proposto con il profilo SN7 anche se quest'ultimo è tracciato a circa 2400 m a ovest. I 4 corpi principali si distinguono nettamente anche se la loro struttura è parzialmente modificata, oppure le stratigrafie a disposizione lungo il profilo ne rappresentano solo parti prossimali. Emergono inoltre due tratti segnalati da riquadri di colore marrone dove la sedimentazione grossolana è pressoché assente o comunque poco significativa (spessori inferiori ai 2 m); il più esteso è situato in corrispondenza dell'Isola dei Petroli, l'altro nella parte a sud-ovest dell'area di San Giuliano.

Profilo SN2



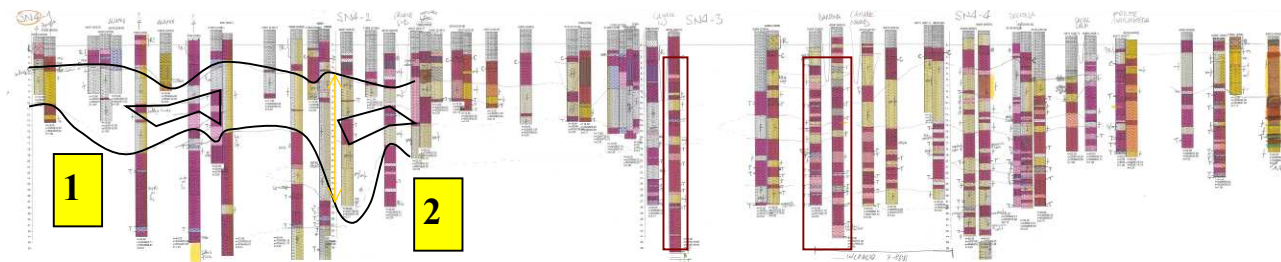
Morfologia dei corpi sabbiosi principali e i loro collegamenti

Lungo i diversi profili la struttura complessiva dei sistemi sedimentari sabbiosi è generalmente mantenuta anche se con alcune variabilità morfologiche, laterali e verticali, insite in questi modelli deposizionali di tipo alluvionale. I corpi sono interrotti lateralmente da tratti a prevalente deposizione fine e possono chiudersi piuttosto nettamente o mantenere una certa continuità laterale ma spessori più modesti.

Alcune strutture si notano più compiutamente di altre e le più estreme dell'area considerata possono non essere contenute nella traccia del profilo o rappresentate solo nei lembi esterni rispetto all'asse del corpo alluvionale.

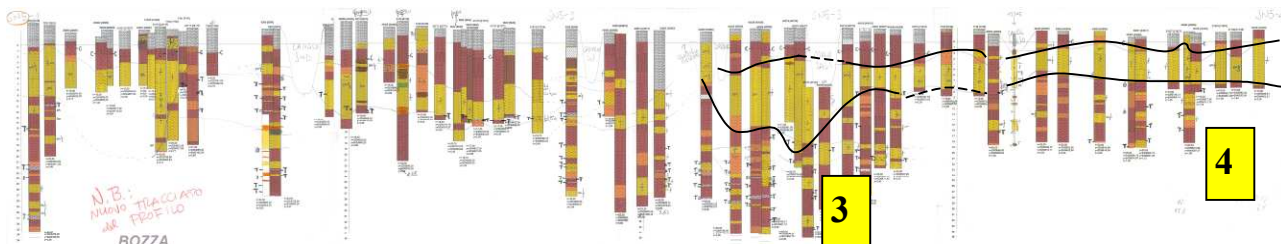
Nel profilo SN4 si possono rimarcare i collegamenti esistenti fra i due corpi più meridionali e la successione verticale continua di sabbie che può raggiungere anche 24 m di spessore in corrispondenza al sito della Centrale Elettrica Enel di Fusina. Esistono inoltre due tratti, situati in corrispondenza circa dell'area del molo B del porto commerciale, a sedimentazione grossolana non significativa o comunque ridotta e rimarcati dai riquadri marroni.

profilo SN4



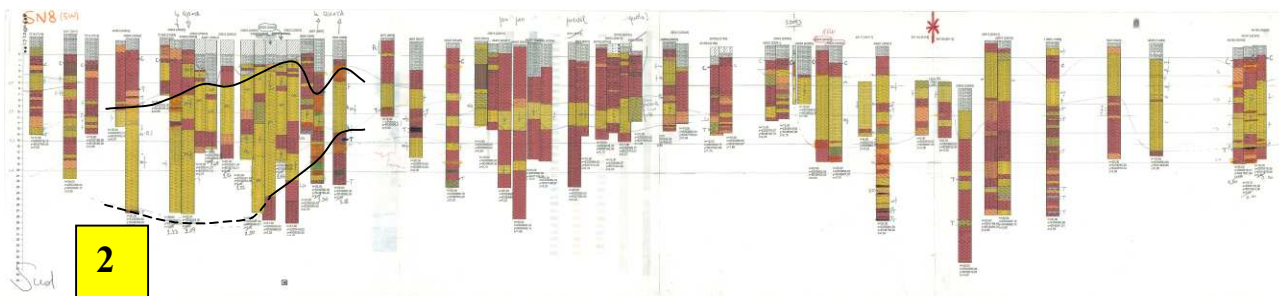
Il profilo SN5 mette in evidenza l'aspetto tabulare del corpo sabbioso settentrionale (a destra della Figura) e il possibile collegamento a sud con il sistema a sedimentazione grossolana (n°3) che assume in questo tratto uno spessore massimo di 14 m, e attraversa il sottosuolo dell'area del porto commerciale nei pressi del Molo Sali.

profilo SN5



Nel profilo SN8 risalta l'ampiezza e la complessità della struttura sabbiosa presente in corrispondenza della Darsena Sud di Porto Marghera. In questo tratto ne è evidente la conformazione: profonda a sud (a sinistra della Figura) con spessori di almeno 18 m di sabbie e sabbie limose (ma in alcune stratigrafie a circa -28 m s.l.m. non viene raggiunto ancora il letto dell'impermeabile sottostante); più superficiale a nord o addirittura sub-superficiale - in corrispondenza della parte sud-ovest della Penisola della Chimica - ma con spessori altrettanto cospicui (almeno 20 m).

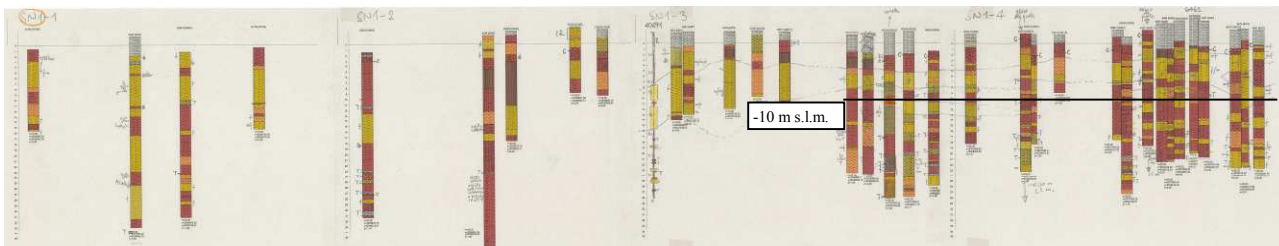
profilo SN8



Aree con la prevalenza di deposizioni alternate grossolane e fini

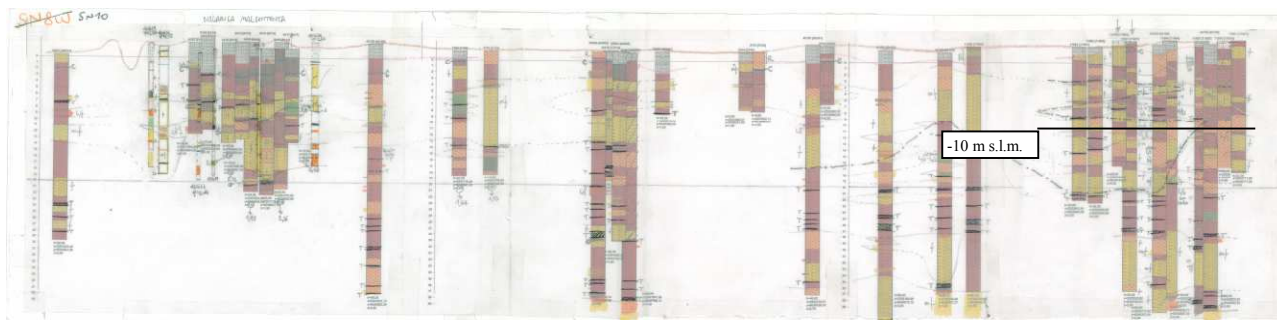
Il profilo SN1 è il più orientale tracciato dell'area SIN con una densità di informazioni inferiore agli altri profili. Il tratto più completo è quello relativo alla porzione settentrionale del profilo (a destra della Figura), situata in corrispondenza del margine lagunare dell'area di San Giuliano, che mette in evidenza una fitta variabilità di deposizione di sedimenti fini e grossolani alternati, con una prevalenza della prima a quote inferiori a -10 m s.l.m., della seconda nella parte più superficiale. Lo spessore medio dei singoli strati supera i 4 m solo in alcuni casi. Sono aree che non furono interessate direttamente dalle principali direttrici dei flussi che determinarono le deposizioni grossolane più cospicue.

profilo SN1



Il profilo SN10 è il più occidentale dell'area considerata, con densità di informazioni diseguale lungo il tracciato. Uno dei tratti più completi è quello relativo alla porzione settentrionale del profilo (a destra della Figura) situata in corrispondenza del cavalcavia ferroviario della tangenziale di Mestre. Anche in questo caso il profilo risalta una situazione di fitta alternanza di litotipi fini e grossolani, con una prevalenza della prima a quote superiori a -10 m s.l.m., della seconda nella parte più profonda. Le deposizioni sabbiose potrebbero essere però in contatto con un sistema sedimentario sabbioso che le affianca verso sud.

profilo SN10

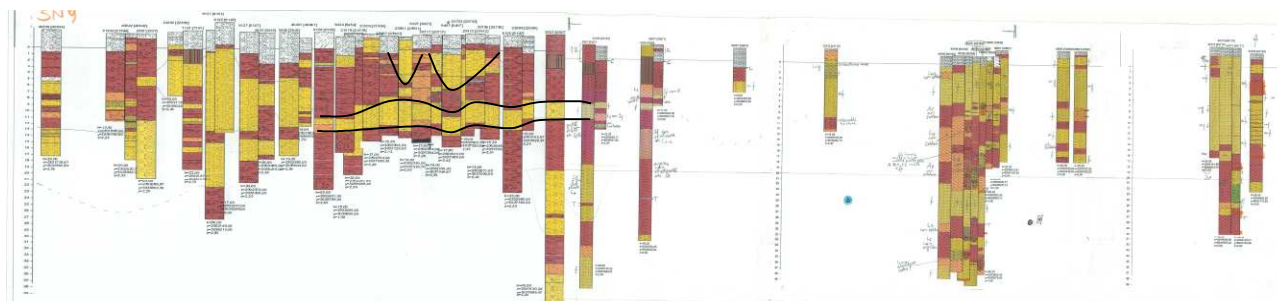


Aree con corpi sabbiosi minori

Le strutture sabbiose principali sono costituite dalla sovrapposizione di diversi corpi sabbiosi che si impilano, talora intercalati da strati a sedimentazione limosa argillosa ed eventuale presenza di torbe. I corpi sono interrotti lateralmente da tratti a prevalente deposizione fine; possono chiudersi piuttosto nettamente o presentare una certa continuità laterale con spessori più modesti ma mantenendo una sorta di funzione di connessione fra le strutture principali.

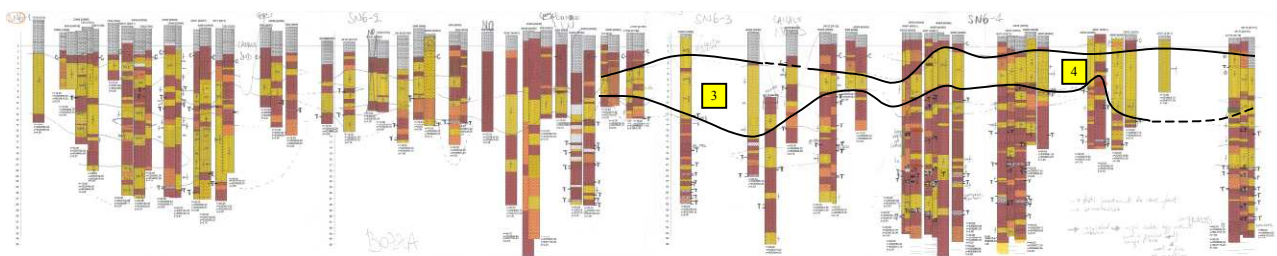
Il sottosuolo in corrispondenza dell'area del Vecchio Petrolchimico, attraversato dalla traccia del profilo SN9, è caratterizzato dalla presenza di un prevalente unico livello sabbioso di circa 4 m di spessore posto mediamente fra -8 e -12 m s.l.m. associato ad altre deposizioni di canale alluvionale più superficiali con connessioni fra i corpi sabbiosi e probabilmente comunicante con i sistemi principali meridionali.

profilo SN9



Il profilo SN6 evidenzia la probabile connessione fra i due sistemi principali più settentrionali (struttura n°3 e n°4).

profilo SN6



Orizzonti torbosi e presenza di caranto

Il profilo SN3 è uno dei più completi e densi di stratigrafie e può condensare i caratteri dell'intera area considerata.

Il profilo è lungo 9500 m (8050 m in linea d'aria) e tracciato lungo il bordo lagunare, dallo sbocco in laguna del Naviglio Brenta a quella del Canale Osellino a monte della località San Giuliano.

Anche questo profilo evidenzia almeno 4 strutture principali a sedimentazione grossolana. I quattro sistemi sono talora intercalati da strati a sedimentazione più fine ed eventuale presenza di torbe. Le torbe assumono forme e spessori vari ma generalmente in un ordine di grandezza mm/cm per gli orizzonti sub-superficiali, cm/dm per quelli più profondi.

Il corpo sabbioso n°1 (Fusina) è rappresentato in questo profilo solo nelle sue propaggini settentrionali.

Il corpo sabbioso n°2 (Malcontenta) è una struttura larga circa 850 m situata in corrispondenza del Canale Industriale Sud e in questo tratto di direzione circa W-E. Si tratta della sovrapposizione di corpi sabbiosi, con il tetto del top della successione a quota costante fra -3 e -4 m s.l.m. e il letto, a quote irregolari ma con profondità massime sicuramente inferiori a 30 m s.l.m. Lo spessore è compreso fra 11 e 20 m. A separare i vari corpi sabbiosi possono essere presenti strati limoso argillosi accompagnati da torba a quote di -8/-9 m, -15/-16 m, -22/-24 m s.l.m. e di spessore fino a 1 m. Questo sistema ha continuità laterale a sud con vari corpi interdigitati a granulometria sabbiosa i cui spessori massimi arrivano a circa 5 m in prossimità della quota 0 m s.l.m. A nord esiste una discontinuità netta nella parte sub-superficiale e una continuità laterale con altri corpi sabbiosi di spessore massimo pari a 6 m a partire dai 15 m di profondità.

Il sistema nella parte centrale del profilo (n°3 – area portuale) è situato in corrispondenza della parte meridionale del Canale Brentella, largo 300 m e di direzione WNW-ESE. I corpi sabbiosi con sabbia prevalente fine si presentano più compatti, con poche intercalazioni di materiali fini, con spessore medio di circa 11 m, tetto a quota compresa fra -2 e -3 m e letto a circa -15 m s.l.m. Al letto sono presenti vari livelli torbosi a partire da 16 m di profondità. E' pressoché assente la continuità laterale a sud con una troncatura netta della sedimentazione più grossolana mentre a nord sono presenti corpi sabbiosi interdigitati il più spesso dei quali (circa 4-6 m) è situato in prossimità della superficie. Questi ultimi corpi, pur con qualche discontinuità, si ispessiscono verso nord formando una struttura tabulare larga circa 1200 m, spessore costante attorno a 7 m con il tetto a 0 m e letto a -7 m s.l.m. Al letto di questa struttura (circa -8/-9 m s.l.m.) è presente un livello torboso.

La struttura sabbiosa settentrionale (n°4 – viale San Marco), presente solo in parte nel profilo, ha aspetto tabulare, spessore medio 15 m, tetto a +1/0 m e letto a -15 m s.l.m. Le granulometrie delle sabbie sono prevalenti fini e medio fini. Può essere interpretata come un ulteriore ispessimento delle strutture con cui è in continuità laterale verso sud.

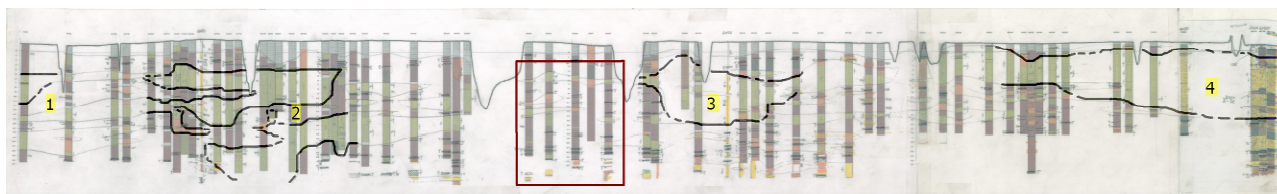
Alcuni tratti del profilo evidenziano l'assenza di significativi corpi sabbiosi limosi, in particolar modo nell'area detta Isola dei Petroli e per un breve tratto dell'area detta Isola delle Statue a sud dell'area di Forte Marghera.

Fasce principali con orizzonti torbosi, più o meno continui, si ritrovano tra -8/-10 m, tra -16/-18 m e soprattutto tra -22/-27 m s.l.m.

Da rilevare la presenza, non sempre costante, del caranto a quote via via maggiori da sud a nord: a circa -3 m s.l.m. presso il limite sud del profilo, tende a -2 m a partire dalla intersezione del Canale Industriale Ovest,

-1 m presso la zona situata a sud di Forte Marghera e infine a quote 0/+1 m s.l.m. verso il limite nord del tracciato del profilo.

profilo SN3



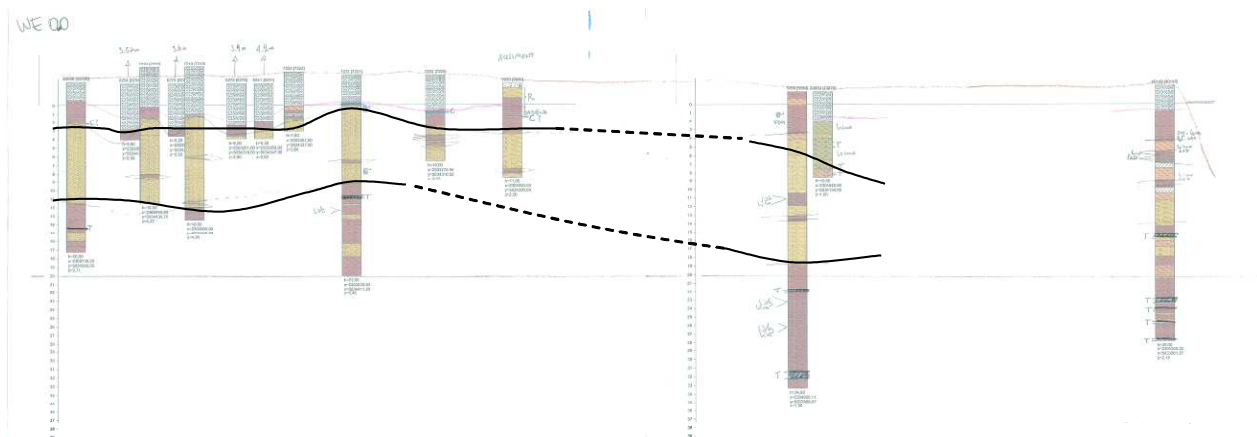
7.7.2.2 Profili di direzione W - E

Questa serie di profili è circa parallela all'assetto regionale dei sistemi morfo-sedimentari. I profili WE1, WE3, WE8 e WE10, i primi proposti, sono quelli tracciati, almeno parzialmente, lungo i corpi sabbiosi principali.

Corpo sabbioso di Fusina

Il corpo più meridionale è rappresentato nel profilo WE1 nel quale si può notare l'andamento tabulare della struttura con uno spessore quasi costante di una decina di metri, evidenziato nello schizzo dalle due linee nere. Verso est (a destra nella Figura), il profilo non segue il corpo sabbioso che, probabilmente, si sposta verso sud-est.

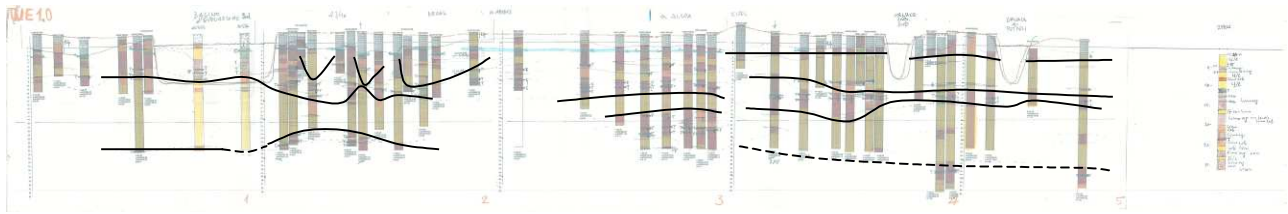
Profilo WE1



Corpo sabbioso di Malcontenta

Il profilo WE3 rappresenta il sistema sedimentario 2, situato in corrispondenza del Canale Industriale Sud. Questo corpo sabbioso, come già indicato nei profili di direzione SN, è più complesso e suddiviso in più corpi minori a diversa profondità con ampie porzioni in cui la struttura è separata da uno strato impermeabile continuo ma anche con parti in cui i corpi sono collegati e la successione di strati sabbiosi limosi è superiore a 20 m. Verso est (a destra della Figura) si può notare la porzione orientale del SIN in cui si ha la successione a due corpi sabbiosi sovrapposti come nella Penisola della Chimica.

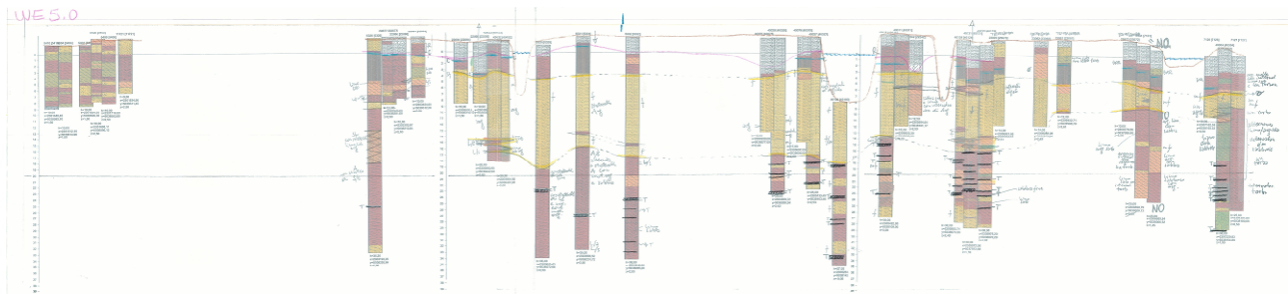
Profilo WE3



Corpo sabbioso dell'area portuale

Il profilo WE8 segue un tratto del corpo sabbioso situato nella zona del porto commerciale ed evidenziato dal colore giallo e arancione. Nel tratto considerato, lo spessore massimo raggiunge 15 m mentre quello medio è attorno i 13 m.

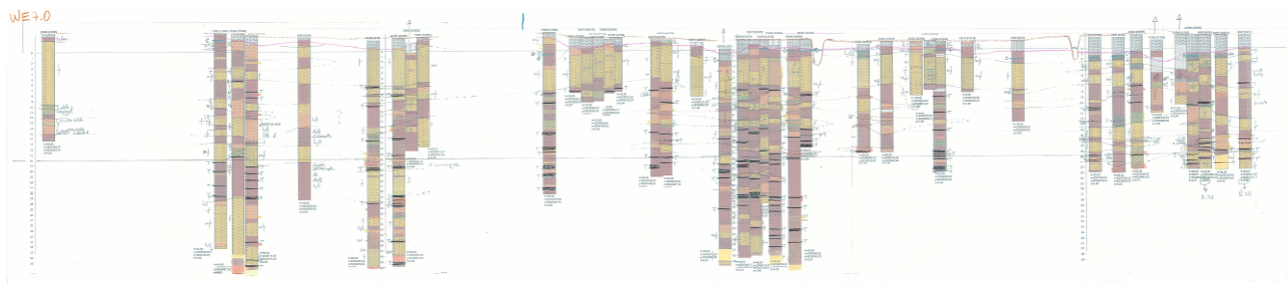
Profilo WE8



Corpo sabbioso di Viale San Marco

Infine il profilo WE10 mette in evidenza il corpo tabulare settentrionale di una decina di metri di spessore.

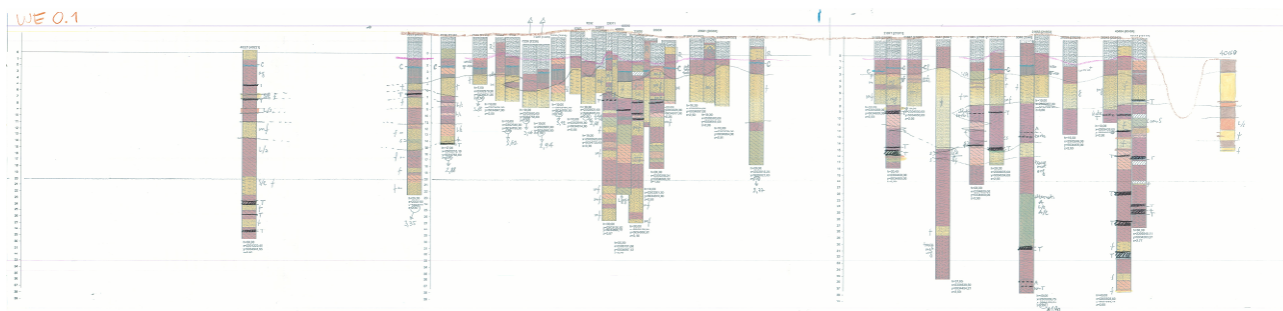
Profilo WE10



Altri profili W - E

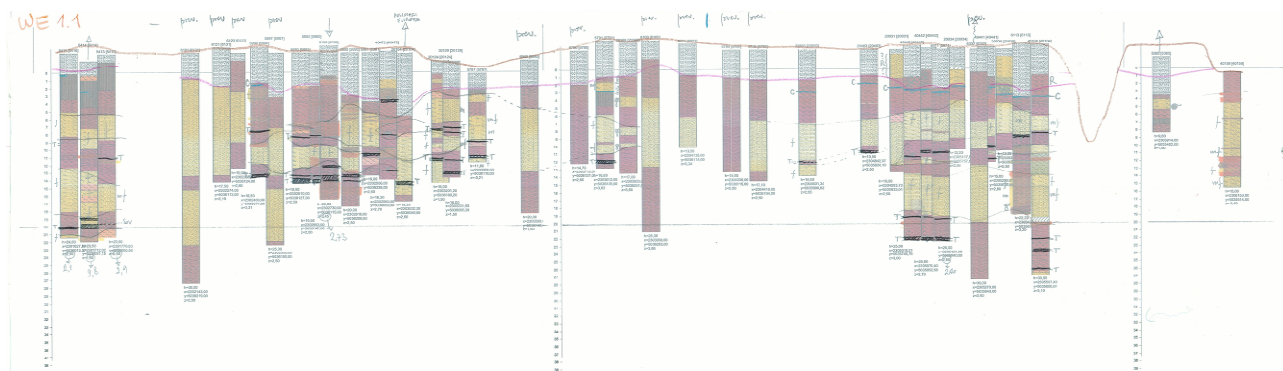
La traccia del profilo WE2 taglia una delle strutture sabbiose principali in corrispondenza della stratigrafia 5347. La sequenza sabbiosa ha uno spessore di circa 13 m; verso est il corpo principale ha connessioni laterali con due strati sabbiosi a potenza minore separati da una sequenza argilloso limosa caratterizzata dalla presenza di due serie di strati e lenti torbose a profondità attorno a -9 m e -15 m s.l.m.

Profilo WE2



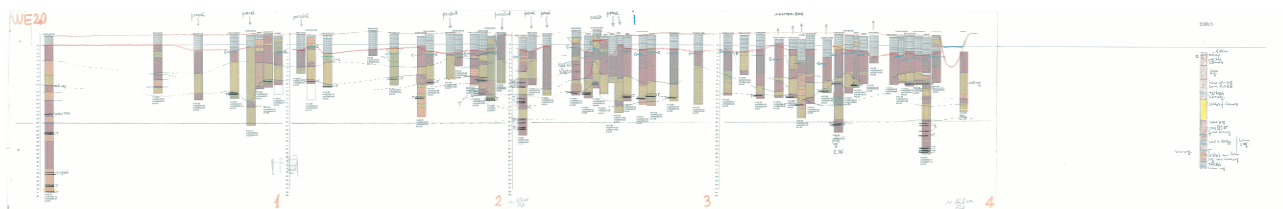
Il profilo WE4 attraversa la porzione meridionale della Penisola della Chimica e nel tratto con la presenza di stratigrafie più profonde di 20 m, ritorna evidente la suddivisione del sottosuolo secondo il modello cosiddetto a “due falde”. Anche in questo caso fra le due “falde” e al letto della “seconda falda” vi è la presenza sedimenti argilloso limosi con orizzonti torbosi.

Profilo WE4



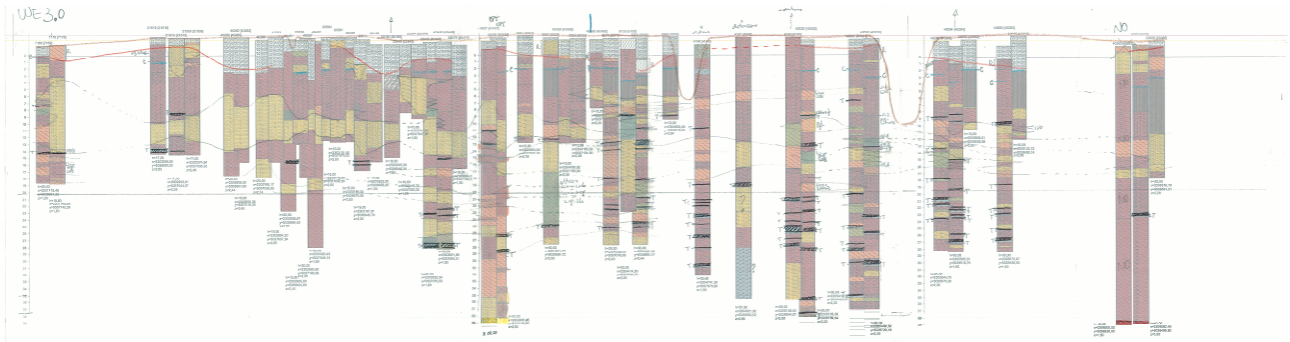
Caratteristica del profilo WE5 è la presenza costante del caranto, strati argilloso limosi sovraconsolidati, i tetti dei quali giacciono a quote circa costanti di circa -2 m s.l.m.

Profilo WE5



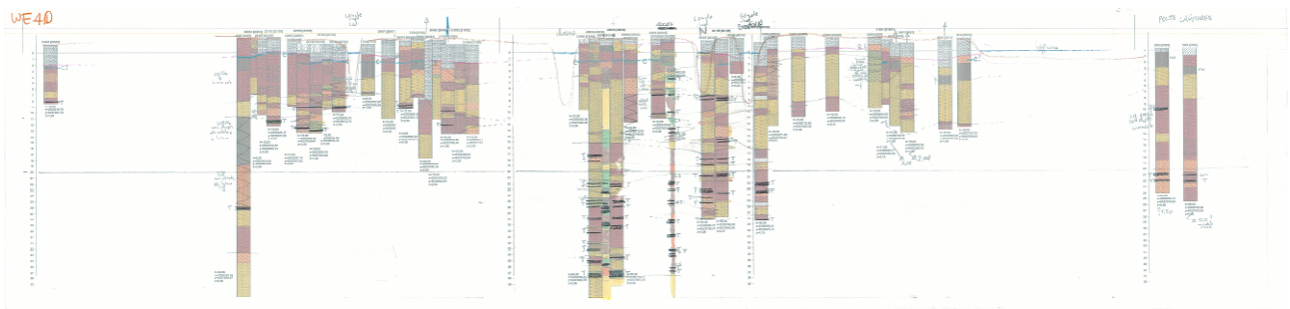
Il profilo WE6 è tracciato per lungo tratti attraverso le aree dove si riscontra un'assenza di depositi sabbiosi significativi. Essi sono posti in corrispondenza del molo B del porto commerciale e dell'isola dei Petroli. Da notare la frequente presenza di orizzonti torbosi nei materiali argilloso limosi, soprattutto a quote inferiori a -20 m s.l.m.

Profilo WE6



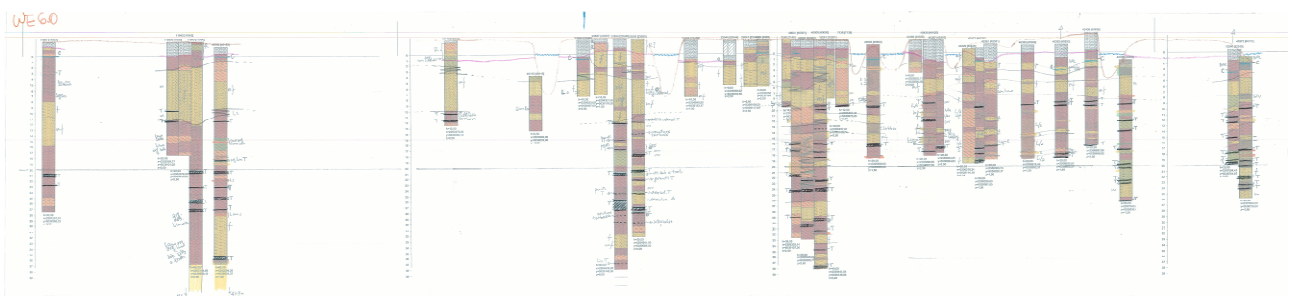
Il profilo WE7 attraversa l'area del porto commerciale, un'area carente di stratigrafie significative ma con tratti che lasciano intravedere la presenza di un corpo sabbioso importante attorno al Canale Industriale Nord.

Profilo WE7



Lungo la traccia del profilo WE9 il corpo sabbioso settentrionale ad andamento tabulare, visibile nel tratto occidentale (a sinistra della Figura), si assottiglia fino a essere interdigitato da strati a sedimentazione più fine. Le deposizioni più grossolane restano prevalenti a profondità comprese fra 0 e -10 m s.l.m. ma presentano spessori modesti e poco continui.

Profilo WE9



7.8 Ricostruzione tridimensionale (3D) della struttura geologica del sottosuolo

7.8.1 Elaborazione tridimensionale del sottosuolo

7.8.1.1 Ricostruzione geologica 3D

L'idea dell'elaborazione tridimensionale della struttura geo-idrogeologica dell'area SIN, è nata dalla necessità di poter avere una visione d'insieme delle sequenze deposizionali naturali e antropiche che hanno interessato il sito in oggetto. Nonostante la densità d'informazione notevole (150 sondaggi per kmq), la complessità delle strutture deposizionali, con l'aggiunta delle modifiche antropiche, non hanno permesso l'utilizzo di normali algoritmi d'interpolazione 2-3D. Si è deciso quindi di creare il modello tridimensionale utilizzando un metodo semi-automatico, dove le operazioni manuali hanno prevalso su elaborazioni automatiche.

Il modello è composto da 20 sezioni geologiche, 10 con direzione prevalente WNW – ESE e 10 con direzione prevalente NE – SW. Le tracce delle sezioni sono le medesime utilizzate per i profili geologici (vedi cap.7.7).

In questo caso le sezioni non vengono proiettate lungo una sezione rettilinea parallela all'asse X per le sezioni WNW – ESE o lungo l'asse Y per quelle NE – SW, ma passano per ogni verticale considerata, per ottenere un modello georiferito. Per migliorare la lettura dei profili si è applicato un fattore di scala 10 sulle quote.

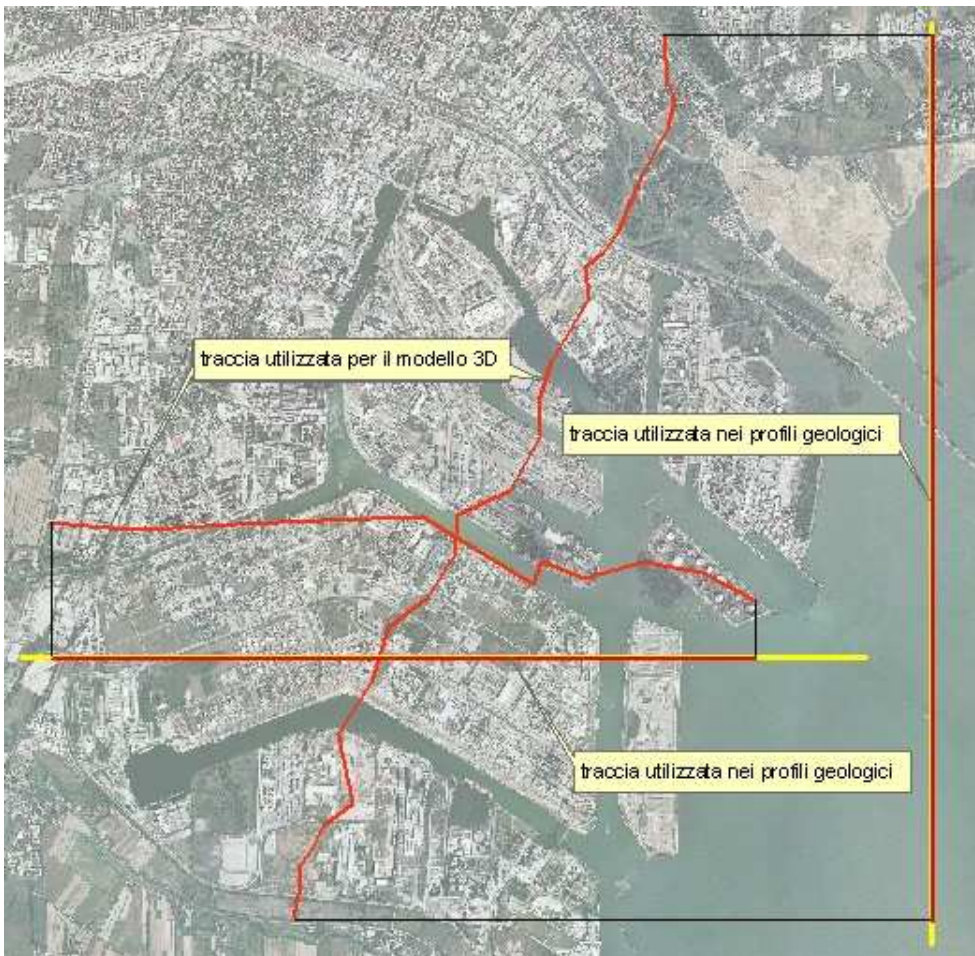


Figura 7.8.1.1.1 - Tracce utilizzate per la creazione dei profili geologici e per la creazione del modello 3D

Il primo passo verso il modello tridimensionale del sottosuolo, è stato quello di ricreare in ambiente CAD le sezioni geologiche (vedi cap. 7.7). Tutte le operazioni sono state fatte con dati georiferiti secondo il sistema di riferimento Gauss Boaga fuso Ovest. Una prima semplificazione è stata introdotta nell'esportare le colonne stratigrafiche dalla banca dati geologica al file CAD. Per fare questa operazione si è passati attraverso la creazione di uno shapefile. La semplificazione è consistita nella creazione di un nuovo campo "new_cod" corrispondente alla litologia prevalente del livello descritto all'interno della banca dati. In pratica, se ad un livello è stato assegnato il valore 2061 corrispondente a limo torboso argilloso, come "new_cod" avrà 2000 corrispondente a limo, ottenendo così 7 classi principali.

COD litologico	"new_cod"	Litologia
da 1000 a 1999	1000	Argille
da 2000 a 2999	2000	Limi
da 3000 a 3999	3000	Sabbie
da 4000 a 5999	4000	Ghiaie
da 6000 a 6999	6000	Torbe
da 7000 a 7999	7000	Riporto

Tabella 7.8.1.1.1 - Tabella della semplificazione litologica utilizzata per la digitalizzazione dei profili geologici

Con questa semplificazione si è passati da 110 codici litologici a 7.

La rappresentazione via CAD ha lo scopo di mettere in evidenza la presenza di corpi sabbiosi, di conseguenza i livelli intermedi, quali limo argilloso o limo sabbioso, sono stati accorpati in base alle sezioni cartacee e alle strutture geologiche predominanti.

Ulteriore semplificazione è stata eseguita al momento di disegnare le sezioni digitali. Si è infatti deciso di aver soltanto 3 classi litologiche, ai fini di una più chiara rappresentazione dei corpi idrogeologici.

Unità	"new_cod"
Acquitarzo - acquifero	3000; 4000; 2000; 6000
Acquiclude	1000; 2000; 6000
Riporto	7000

I limi (new_cod 2000) compaiono sia negli acquitardi – acquiferi che negli acquiclude in base al fatto che siano rispettivamente sabbiosi, con sabbia oppure argillosi o con argilla. Così anche per le torbe (new_cod 6000) inserendole nell'una o nell'altra unità a seconda del contesto in cui si trovano e delle percentuali dei litotipi.

Utilizzando dati georiferiti è stato possibile trasferire le sezioni digitali, in un software GIS per la visualizzazione e analisi incrociata con altri livelli informativi

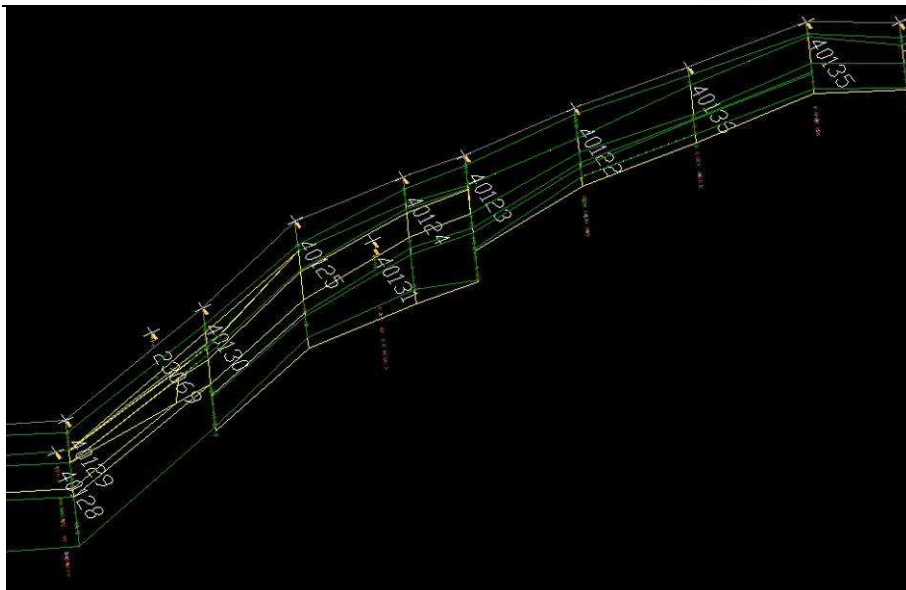


Figura 7.8.1.1.2 - Struttura di un profilo geologico 3D in ambiente CAD.

La base di partenza consiste in una serie di punti corrispondenti al letto di ogni livello descritto nella stratigrafia inserita nella banca dati geologica. La tematizzazione di tali punti è coerente con lo schema precedentemente descritto.

Nell'immagine seguente è riportato lo stesso tratto di profilo, visualizzato nella Figura 7.8.1.1.2 in modalità tridimensionale.

Il corretto posizionamento spaziale delle sezioni geologiche, ha permesso la visualizzazione e analisi della maglia geologica così creata. Si è così passati ad un'analisi della congruenza dei profili nei punti d'intersezione. In alcuni casi, dove il punto d'intersezione non coincideva con un sondaggio comune, e l'interpretazione dei due sondaggi non coincideva, si è operata una modifica manuale, in continuità con le strutture geologiche evidenziate dai profili.

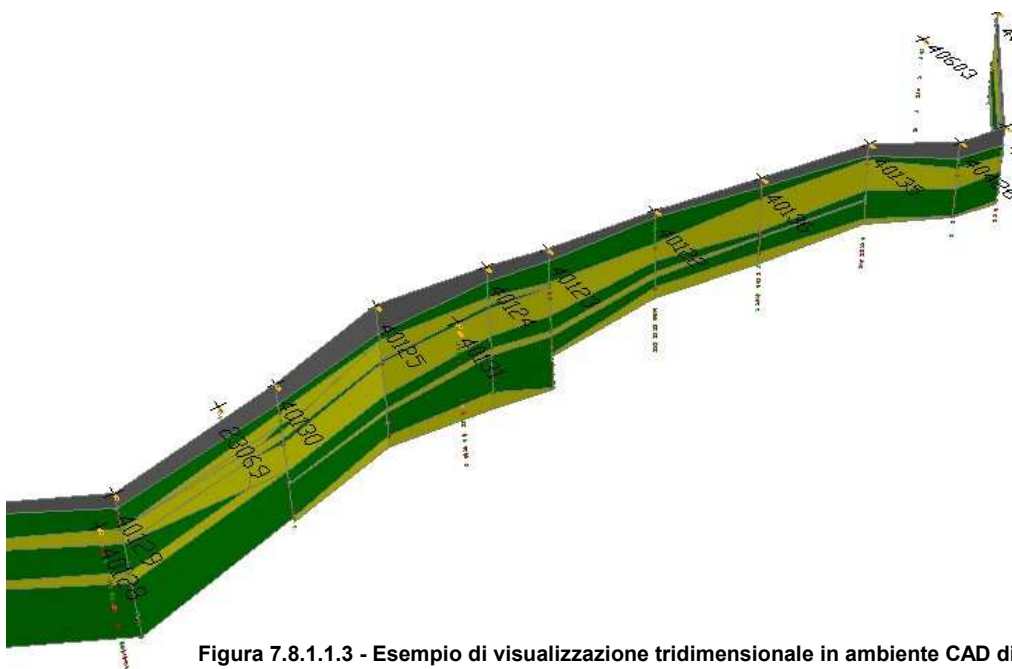


Figura 7.8.1.1.3 - Esempio di visualizzazione tridimensionale in ambiente CAD di un profilo geologico.

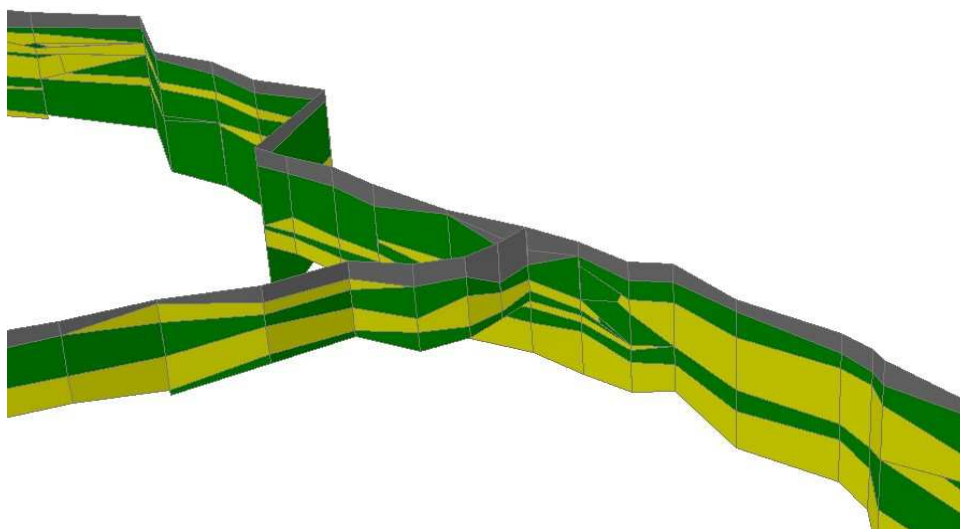


Figura 7.8.1.1.4 - Esempio di intersezione tra due profili geologici.

7.8.1.2 Applicazione del modello 3D

La ricostruzione tridimensionale georiferita è stata un ottimo strumento di supporto per la comprensione delle dinamiche deposizionali e per le dinamiche idrogeologiche. Si sono evidenziate le complessità morfologiche degli acquiferi, evidenziando come il modello “2 falde” sia applicabile esclusivamente in determinate aree all'interno del SIN e non possa essere esteso a tutto il sottosuolo di Porto Marghera. Con la possibilità di utilizzare il modello 3D all'interno di un software GIS, si sono potuti incrociare layer diversi, ottenendo ulteriori informazioni di supporto ai dati idrogeologici reperiti in precedenti lavori, e quelli ricavati dalle campagne di misurazione. Per esempio si è sovrapposto il modello, con la ricostruzione dei piezometri e dei loro tratti fenestrati per individuare il livello interessato dallo stesso piezometro. Da questa osservazione, si sono potuti definire dei gruppi di piezometri filtranti lo stesso acquifero. Allo stesso modo si sono verificati i dati di permeabilità, sovrapponendo il modello geologico tridimensionale con i valori delle varie prove eseguite in campagna.

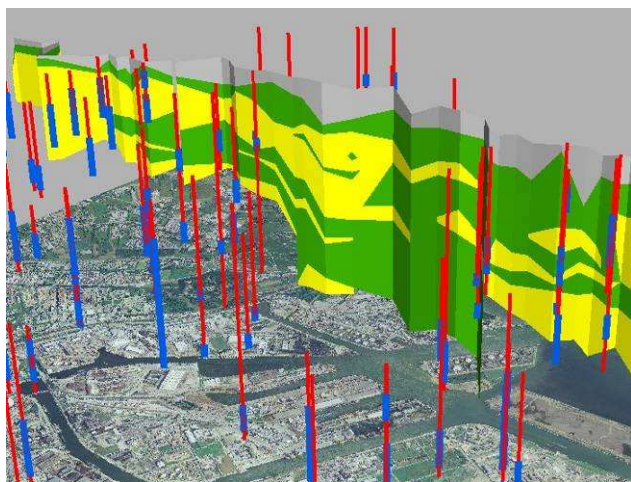


Figure 7.8.1.2.1 - Esempi di utilizzo dei profili seriati tridimensionali. Nella Figura di sinistra si vedono i piezometri con i rispettivi tratti filtrati, sovrapposti ad un profilo geologico. Nella Figura di destra si sono incrociati i valori di permeabilità con i profili geologici.

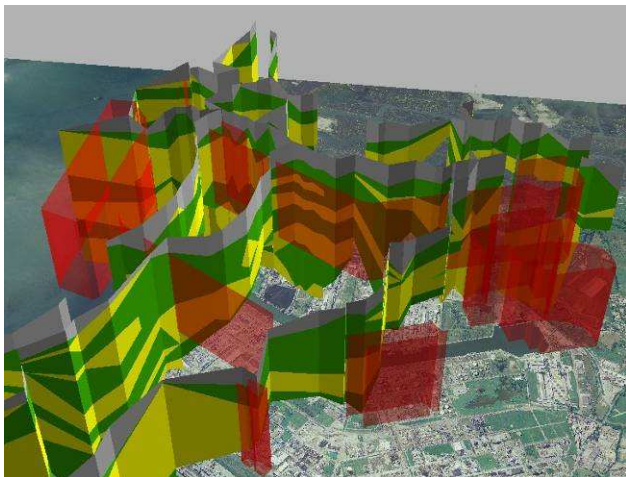


Figura 7.8.12.2 - Esempio di analisi di un marginamento. Il modello permette di individuare i livelli intercettati da una barriera a diverse profondità

Inoltre può essere utilizzato in futuro come supporto decisionale per qualsiasi intervento che interessi il sottosuolo dell'area di studio, tenendo sempre presente tutte le assunzioni e semplificazioni utilizzate per arrivare alla realizzazione di tale modello.

Tale applicabilità è facilitata dalla completa e georeferenziata informatizzazione del dato.

7.8.1.3 Rappresentazione geometrica tridimensionale (3D) degli acquiferi

Dal modello geologico tridimensionale, si è cercato di arrivare alla definizione di domini idrogeologici omogenei. Si è resa necessaria la delimitazione spaziale nelle tre dimensioni per ottenere una stima delle dimensioni degli acquiferi per la definizione delle loro caratteristiche idrogeologiche, legate in parte alle dimensioni dei corpi. L'idea principale è stata quella di estendere nel piano xy, le sezioni ricavate dai profili geologici. L'operazione consiste nell'interpolare lo spazio (vuoto) compreso tra una sezione e l'altra. La maggior difficoltà nell'utilizzo di software in grado di rappresentare volumi 3D, è che gli interpolatori utilizzati necessitano di dati omogenei ai limiti del box d'interpolazione (condizioni che si verificano più facilmente in presenza di livelli rocciosi). Ciò non è attendibile per aree come quella in studio, dove l'ambiente sedimentario deposizionale complesso comprende forme geologiche difficilmente traducibili dagli algoritmi d'interpolazione (lenti, chiusure pinch-out).

La complessità geologica ha spinto verso una procedura per approssimazioni successive, utilizzando strumenti CAD-GIS, evitando l'utilizzo di software in grado di interpolare dati 3D, a meno di un'enorme generalizzazione, e di una complessa verifica del dato interpolato.

Si riassumono in punti i principali passaggi che hanno portato alla creazione dei volumi virtuali.

4. Intersezione tra le sezioni geologiche e piani orizzontali a diverse quote.
5. Assegnazione ai diversi tratti delle polilinee, risultanti dalla precedente intersezione, della classe di permeabilità (acquifero, acquiclude, riporto)
6. Trasformazione della polilinea in punti
7. Interpolazione dei punti, con evidenziazione delle "aree acquifero"
8. Trasformazione delle "aree acquifero" raster in poligoni
9. Risagomatura dei poligoni, secondo precedenti analisi sulla distribuzione delle sabbie e delle geometrie dei corpi.

Sono poi stati impostati 5 piani d'intersezione, rispettivamente alla quota di -5m, -10m, -15m, -20m, -25m sul livello medio mare. (Figura 7.8.1.3.1)

Per ogni quota d'intersezione tra piano orizzontale e sezioni geologiche si sono ottenuti una serie di linee spezzate ognuna avente come attributo la classe idrogeologica presente nella sezione geologica in quel tratto. (Figura 7.8.1.3.2)

Si sono poi trasformate tutte le spezzate in punti, mantenendo inalterata la tematizzazione. Ogni spezzata viene trasformata in un punto posizionato nel punto mediano del segmento. (3 - Figura 7.8.1.3.3)

Interpolando i punti, precedentemente trasformati in punti raster, ottenendo una superficie continua che evidenzia le zone acquifero da quelle acquiclude. Il raster ha celle quadrate di 50 m di lato.(4 - Figura 7.8.1.3.4)

I raster così ottenuti sono stati riclassificati e trasformati in shapefile poligonali. (5- Figura 7.8.1.3.5)

Analizzando singolarmente gli shapefile ricavati dall'interpolazione con altri livelli utili alla comprensione della geometria degli acquiferi si sono risagomati i confini.

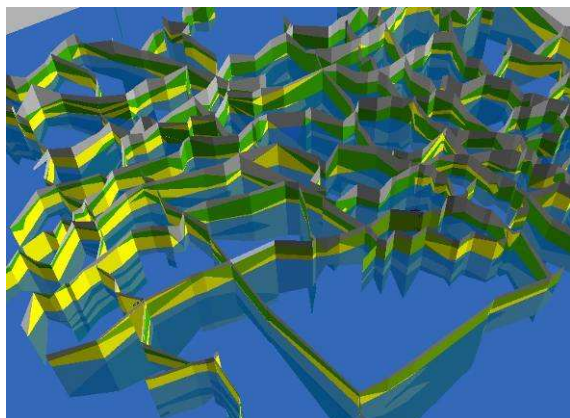


Figura 7.8.1.3.1 - Intersezione tra i profili geologici e un piano orizzontale a quota prefissata.

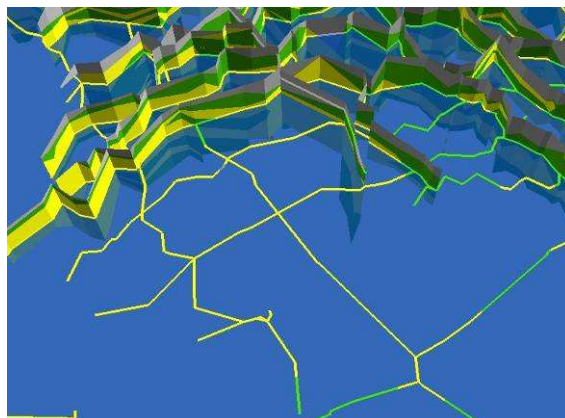


Figura 7.8.1.3.2 - Il risultato dell'intersezione tra due piani, è una retta avente come attributo la litologia del profilo geologico in quel punto.

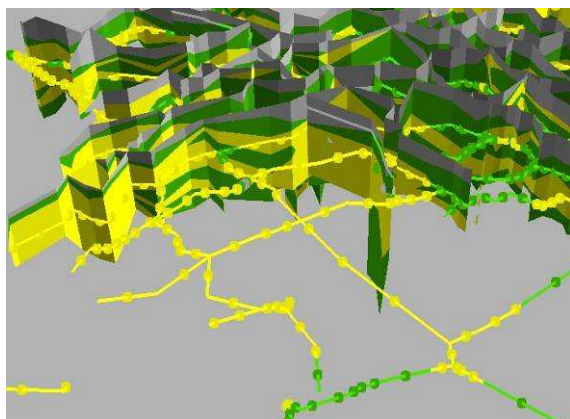


Figura 7.8.1.3.3 - Le polilinee ricavate dall'intersezione precedente sono state convertite in punti per l'interpolazione successiva.

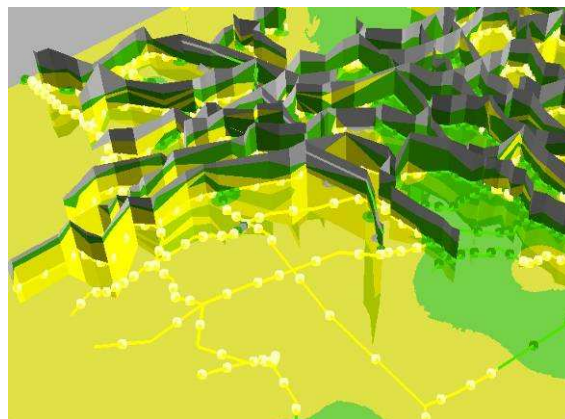


Figura 7.8.1.3.4 - L'interpolazione dà come risultato un piano continuo, utile per rappresentare la continuità spaziale dei corpi geologici.

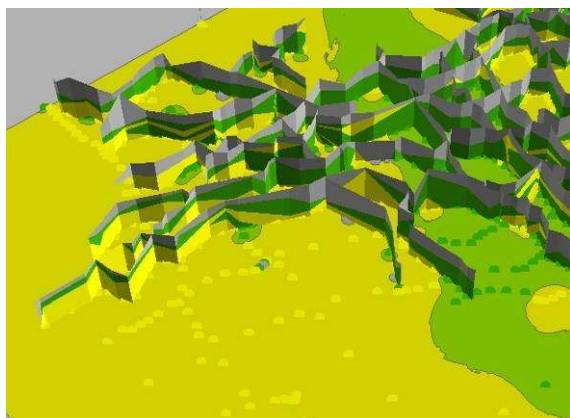


Figura 7.8.1.3.5 - Conversione del raster in file



Figura 7.8.1.3.6 - Estrusione del file vettoriale,

Il livello risagomato è stato successivamente reimportato in ambiente CAD per la creazione di un solido 3D. Per dare continuità verticale si sono estrusi lungo l'asse Z i livelli "acquifero" (Figura 7.8.1.3.6) per un'altezza pari all'equidistanza tra un livello e l'altro (5m). Tale approssimazione è sufficiente per rappresentare con una buona precisione lo sviluppo planoaltimetrico dei corpi acquifero. Il modello è così composto da una griglia avente celle di dimensione 50x50x5, ognuna delle quali appartiene al dominio acquifero o acquiclude (Figura 7.8.1.3.7).

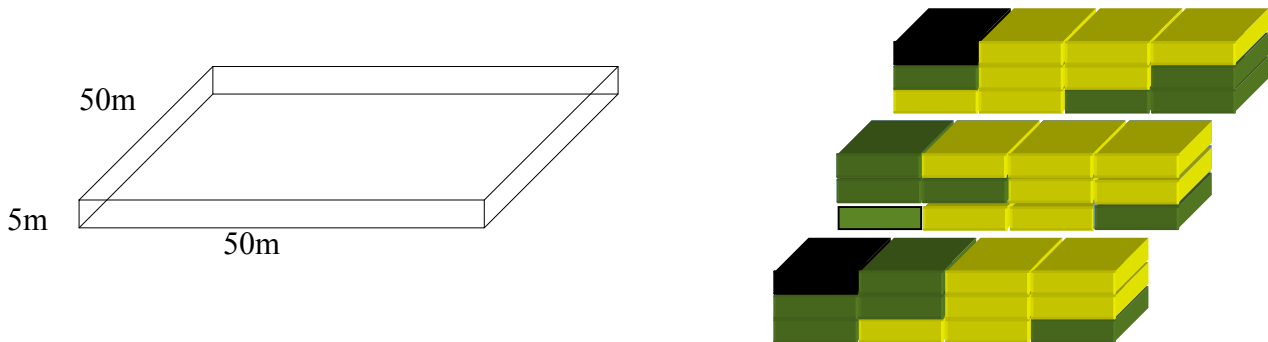


Figura 7.8.1.3.7 - Il sottosuolo è stato discretizzato in celle a base quadrata di lato 50m e altezza 5m. Ogni cella ha come attributo la tipologia di "dominio" idrogeologico.

I corpi così individuati sono da intendersi come possibile estensione di un corpo acquifero, quindi un sistema di corpi sabbiosi interconnessi che fanno assumere all'acquifero continuità idrogeologica. Ciò non significa che i corpi individuati corrispondano all'estensione areale di sedimenti sabbiosi. Infatti all'interno del corpo estruso per uno spessore di 5m è possibile ritrovare lenti o strati appartenenti a classi di permeabilità bassa.

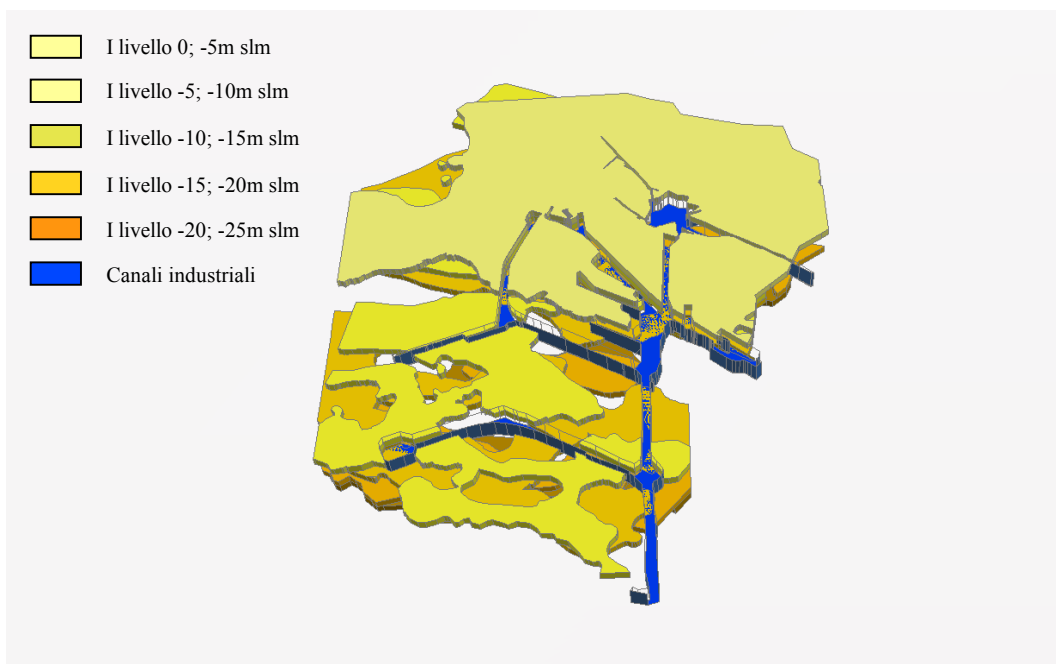


Figura 7.7.1.3.8 - Visione d'insieme dei volumi rappresentativi.

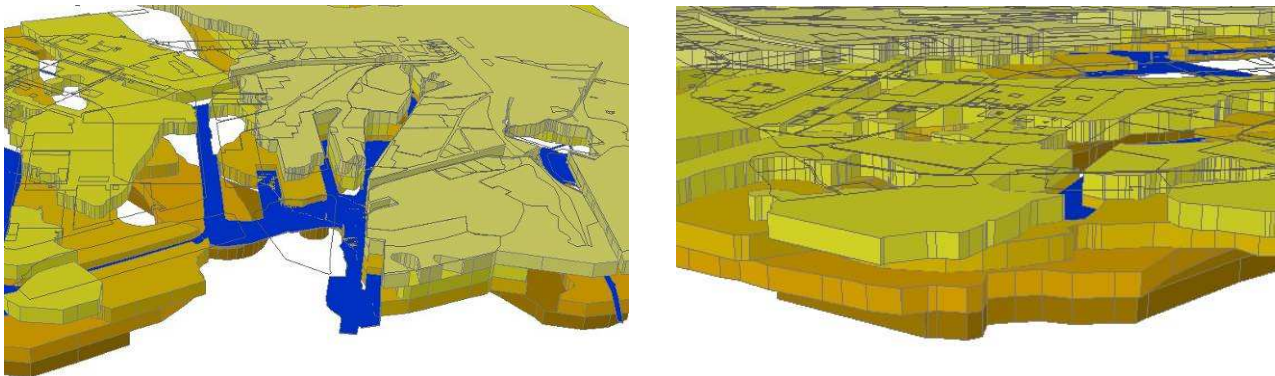


Figura 7.8.1.3.9 - Ingrandimento che mette in evidenza i 5 livelli individuati.

Utilizzando tali elaborazioni ci si è posti l'obiettivo di quantificare le dimensioni di questi domini.

A tal proposito si sono tagliati i corpi con una serie di sezioni verticali di superficie nota aventi direzioni WNW-ESE e SO-NE, con equidistanza pari a 1 km. Dalle sezioni così create si sono ottenute le aree dei corpi sezionati lungo le diverse tracce. Calcolando per differenza, tra l'area della sezione piena e quella ottenuta dal passaggio precedente, si ottiene l'area effettiva dei corpi acquifero in quella particolare sezione.

Nella seguente tabella sono riportati i valori espressi in metri quadrati, calcolati nelle varie sezioni.

- Sezione campione: è la sezione rettangolare utilizzata come base per l'intersezione con il corpo acquifero.
- Sez: numero di riferimento della sezione.
- Area inversa: è l'area positiva della sezione campione dopo l'intersezione con il corpo acquifero.
- Area acquifero: è l'area ottenuta dalla sottrazione dell'area inversa dalla sezione acquifero.



Sezioni SO-NE			
Sezioni campione	Sez	Area inversa	Area acquifero
264602	1	209470	55132
318150	2	258979	59171
	3	243169	74981
	4	227837	90313
	5	244174	73976
	6	263583	54567

Sezioni ONO - ESE			
Sezioni campione	Sez	Area inversa	Area acquifero
214025	1	212043	1982
234220	2	152142	61883
	3	167865	46160
	4	203978	30242
	5	164811	69410
	6	144944	89276
	7	186525	47695
	8	176604	57616

Figura 7.8.1.3.10 - Tracce delle sezioni di calcolo. A destra tabelle riassuntive del calcolo dell'area del livello "acquifero" in corrispondenza delle sezioni.

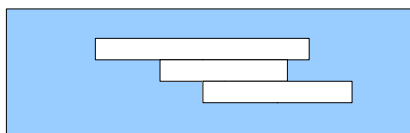
Schematizzando l'operazione:



Area campione



Corpo acquifero



Area inversa

$$\begin{aligned} \text{Area campione} - \text{Area inversa} \\ = \\ \text{Area acquifero} \end{aligned}$$

Si sono così ottenute una serie di rappresentazioni degli strati acquiferi alle varie profondità che risultano essere congruenti con l'interpolazione automatica delle percentuali delle sabbie illustrate nel paragrafo 7.6, ma fondate su una interpretazione geologica basata sulle risultanze dei numerosi profili geologici elaborati.



Figura 7.8.1.12 - Livello da 0 a -5 m slm.
Area coperta pari a 2084 Ha

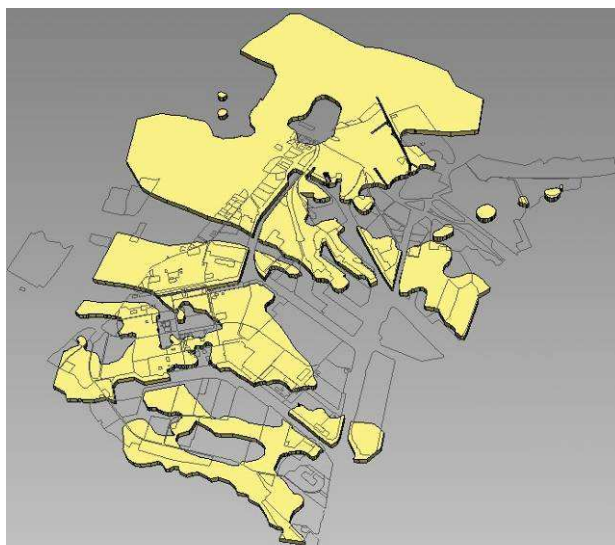


Figura 7.8.1.3.12 - Livello da -5 a -10 m slm.
Area coperta pari a 2127 Ha

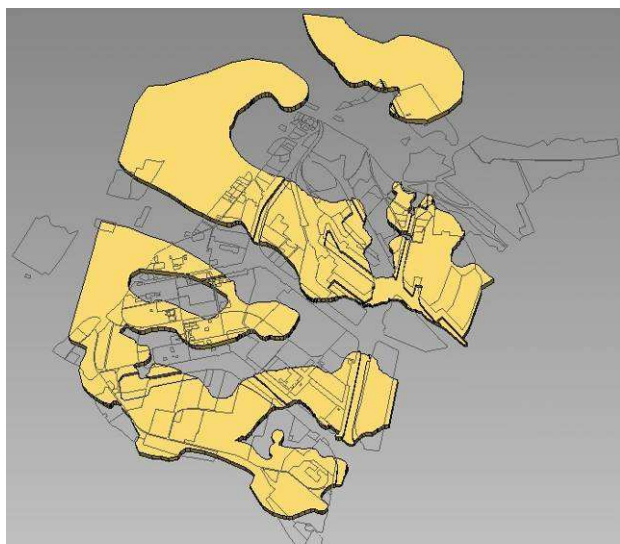


Figura 7.8.1.3.13 - Livello da -10 a -15m slm.
Area coperta pari a 1980 Ha

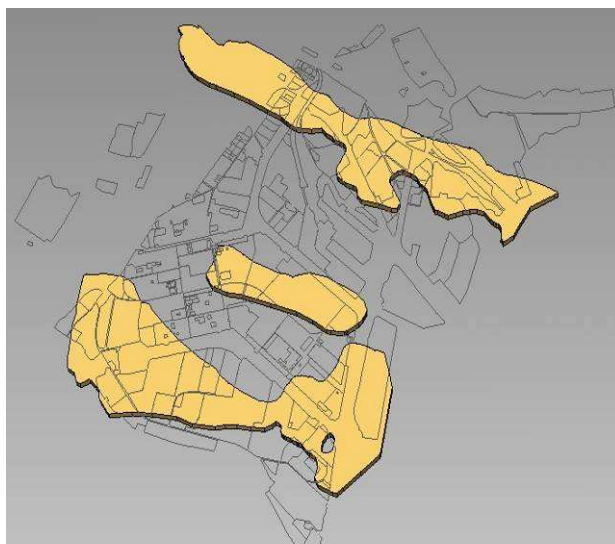


Figura 7.8.1.3.14 - Livello da -15 a -20m slm.
Area coperta pari a 1140 Ha



Figura 7.8.1.3.15 Livello da -20 a -25m slm.
Area coperta pari a 1937 Ha

Successivamente sono stati accorpati i livelli in base alla dinamica deposizionale che regola la regione, individuando due domini principali. E' stato chiaramente individuato un settore centrale con asse di sviluppo WNW – ESE ricadente nella parte nord della penisola della chimica, costituito in prevalenza da materiali fini, con funzioni di spartiacque tra due domini principali; dominio Nord e dominio Sud.

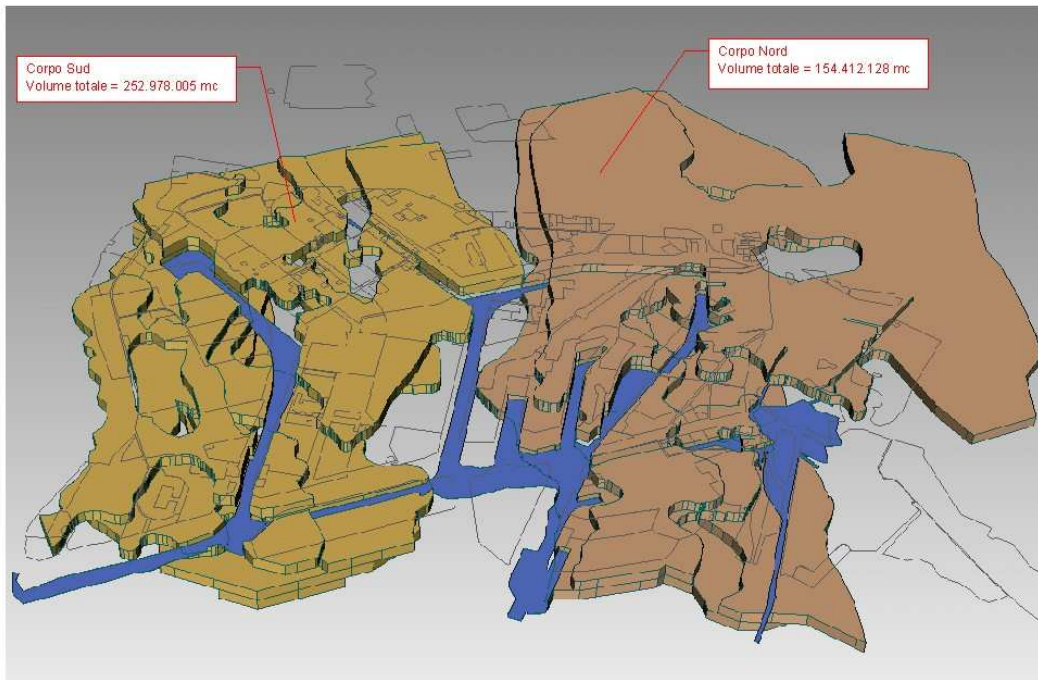


Figura 7.8.1.3.16 - Rappresentazione dei due principali domini sabbiosi.

La Figura 7.8.1.3.16 mostra l'estensione dei due domini sabbiosi; al centro si nota l'acquiclude che separa le due strutture.

Applicando la medesima tecnica di calcolo utilizzata precedentemente sono state individuate le aree degli acquiferi in corrispondenza delle sezioni. Per il calcolo non è stato considerato il primo livello (da 0 a -5m slm) presente nella parte nord dell'area di studio, in quanto i primi metri di sottosuolo hanno presenza di materiali di riporto (tout venant, sottofondi di pavimentazioni...) non significativo nei confronti degli acquiferi. Si è poi calcolato un volume complessivo per ogni corpo.

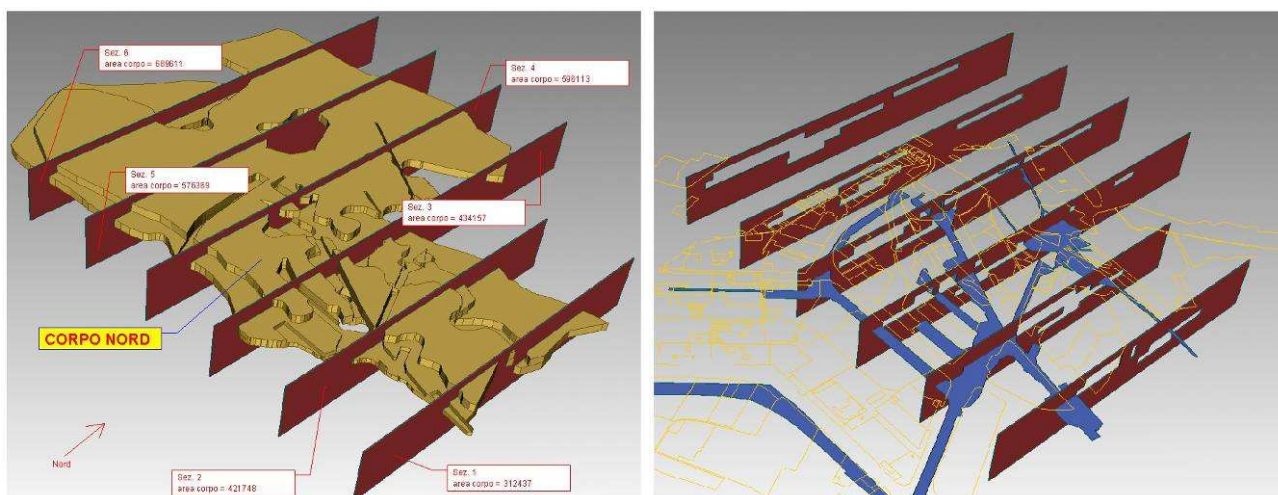


Figura 7.8.1.3.17 Calcolo delle sezioni acquifero Nord.

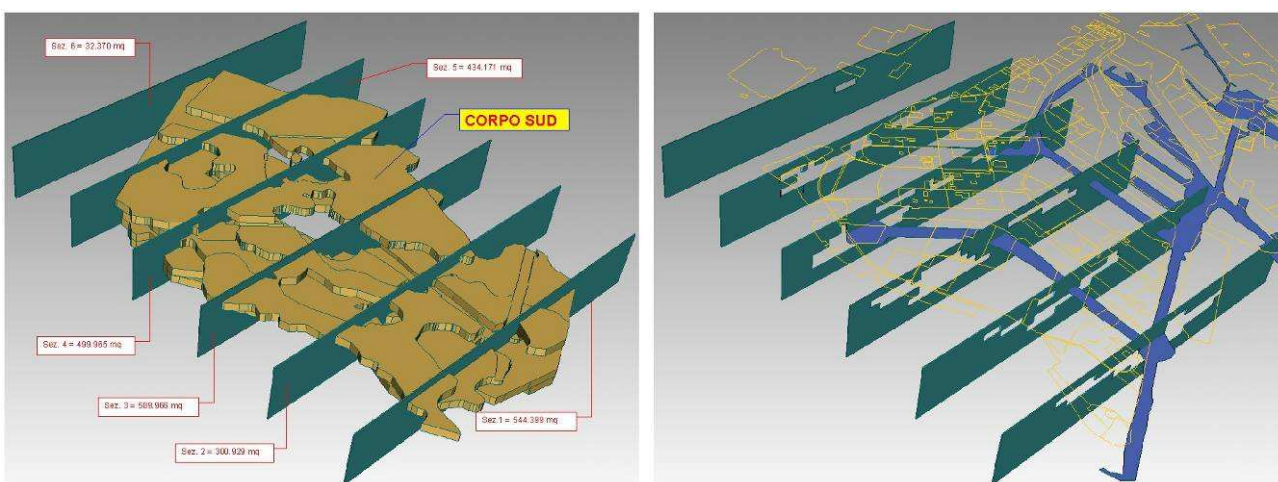


Figura 7.8.1.3.18 - Calcolo delle sezioni acquifero Sud.

Corpo Nord			
Sezioni campione	Sez	Area inversa	Area acquifero
2971500	1	2659063	312437
2797200	2	2375452	421748
3985800	3	3551643	434157
3949400	4	3353287	596113
3875200	5	3298831	576369
3857700	6	3168089	689611

Corpo Sud			
Sezioni campione	Sez	Area inversa	Area acquifero
3019100	1	2474701	544399
3019100	2	2718171	300929
3019100	3	2429134	589966
3019100	4	2519135	499965
3019100	5	2584929	434171
3019100	6	2986730	32370

Le aree calcolate sono espresse in metri quadri.

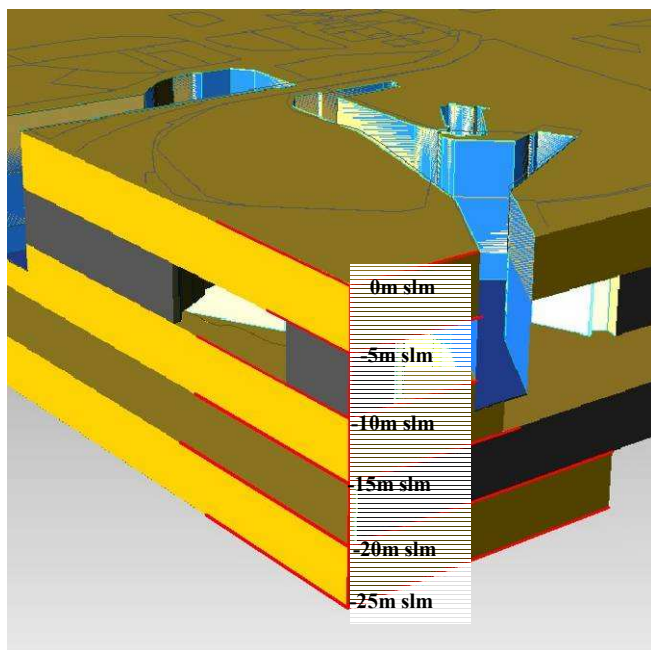


Figura 7.8.1.3.19 - Spaccato del modello con in evidenza i 5 livelli, spessore e relative profondità rispetto al livello medio mare. Lo zoom è centrato sull'isola portuale in direzione NO verso Fincantieri. Si notano i canali, che intercettano i livelli ad una profondità media di 12 m s.l.m.

7.8.2 Tetto del primo acquifero significativo

La conoscenza della profondità a cui si rinviene il primo acquifero significativo è di particolare interesse nell'ambito della ricostruzione idrogeologica complessiva dell'area di Porto Marghera. A tal fine si sono effettuate specifiche elaborazioni della banca dati geologico-stratigrafica.

Attraverso una serie di selezioni, da ogni sondaggio sono stati estrapolati tutti gli strati che avevano le seguenti caratteristiche (requisiti affinché uno strato potesse essere considerato un acquifero e quindi sede di una potenziale falda):

- spessore dello strato maggiore od uguale a 2 m
- permeabilità maggiore di $10e-5$ m/s (quantità di sabbia > 50%)

La ricerca è stata effettuata fino ad una profondità massima di 15 m dal p.c.; tutti i sondaggi privi delle caratteristiche indicate nella selezione sono stati considerati privi di acquifero.

Questo tipo di selezioni sono state possibili perché, ad ogni singolo strato archiviato nella banca dati stratigrafica della Provincia di Venezia, oltre alle informazioni di riferimento spaziale, è stato associato un opportuno codice che ne descrive il litotipo prevalente permettendo in questo modo di ottenere informazioni relative alla composizione granulometrica dello stesso (vedi capitolo 6).

Dapprima viene visualizzata l'ubicazione di tutti i sondaggi utilizzati (Figura 7.8.2.1) come sopra selezionati

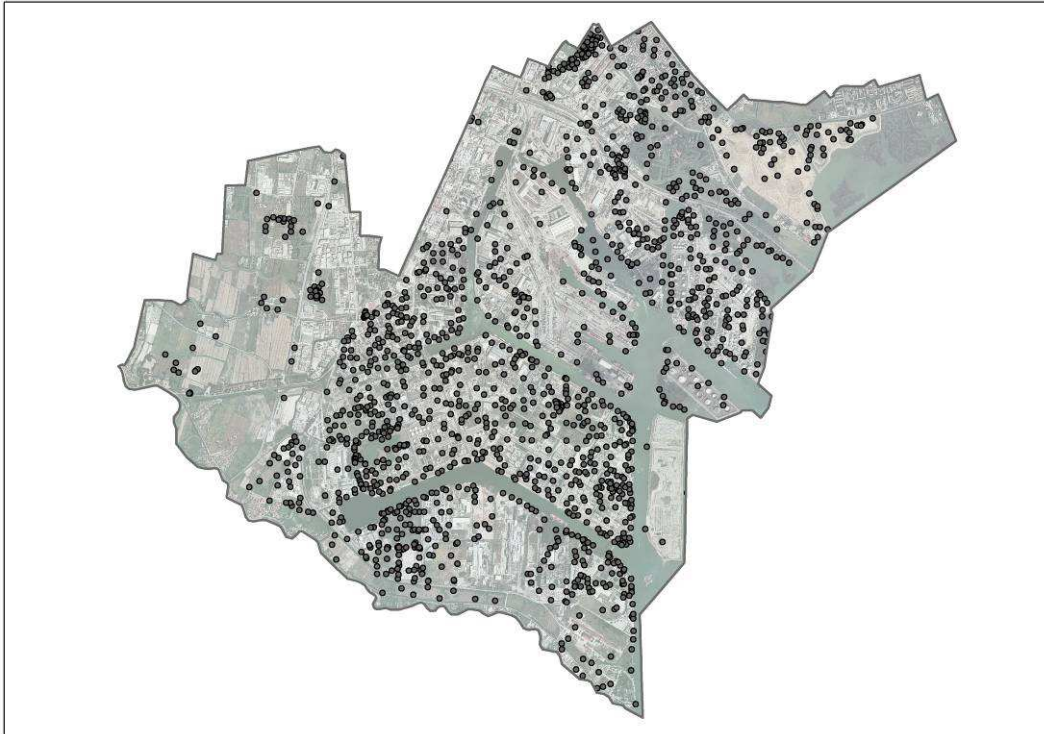


Figura 7.8.2.1

In seguito tutti i sondaggi utilizzati vengono tematizzati in base alla profondità del primo strato avente le caratteristiche che abbiamo definito; viene così realizzata una carta puntuale del tetto del primo acquifero nell'area S.I.N. (Figura 7.8.2.2).

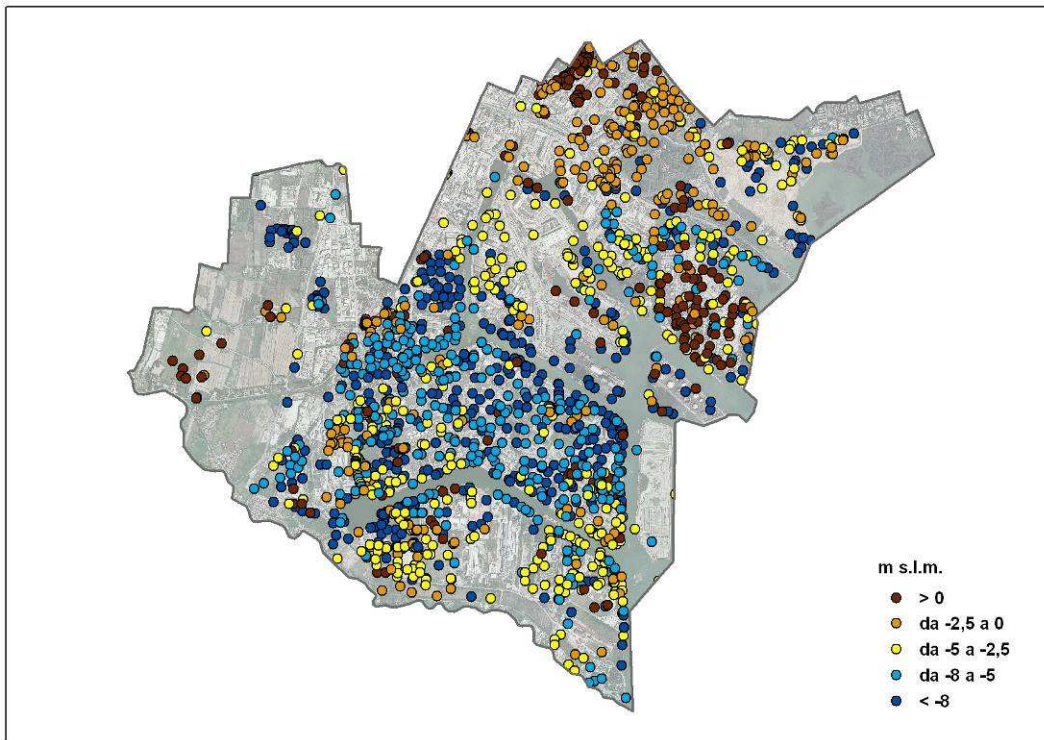


Figura 7.8.2.2

Dall'interpolazione di questi dati puntuali (Kriging Ordinario) è stato possibile infine ottenere la Carta del tetto del primo acquifero (Figura 7.8.2.3).

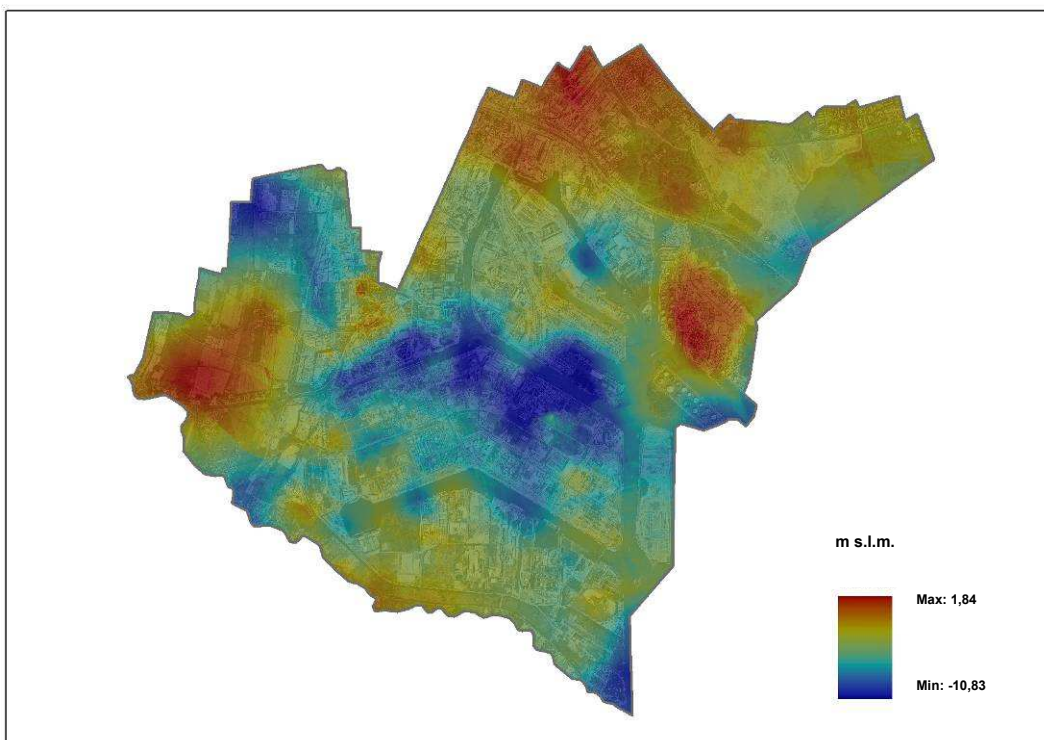


Figura 7.8.2.3

Questa mappa evidenzia che il primo acquifero significativo si trova a profondità diverse; risulta praticamente affiorante nel settore nord-occidentale e nell'estremo orientale, mentre nel settore centrale (area Syndial verso la sponda del Canale Industriale Ovest) risulta ad una profondità piuttosto elevata (8-10 m s.l.m.), ossia sembra non esserci nessun corpo acquifero significativo fino a queste profondità.

7.8.3 Livelli impermeabili sovrastanti il primo acquifero significativo

7.8.3.1 Permeabilità equivalente

Attraverso una serie di elaborazioni piuttosto complesse si è cercato di analizzare, sempre partendo dai dati presenti nella banca dati stratigrafica della Provincia di Venezia, i livelli sovrastanti il primo acquifero significativo evidenziando il grado di impermeabilità degli stessi. Si è voluto cioè capire se il primo acquifero significativo risulta "protetto" da una copertura impermeabile, e con che grado, considerato che, come si è evidenziato nella Figura 7.5.1, il livello di caranto risulta discontinuo su tutta l'area considerata.

Per ogni sondaggio quindi ricadente nell'area S.I.N. è stato calcolato:

- la profondità del tetto del primo acquifero significativo (vedi cap. 7.8.2)
- la profondità del letto del riporto, se presente (vedi cap. 7.4)
- calcolo della differenza tra letto del riporto e tetto del primo acquifero (spessore della copertura); questi valori rappresentano quindi rispettivamente il tetto e il letto della copertura
- per quanto riguarda i sondaggi con assenza di riporto, si è considerato lo spessore della copertura uguale alla profondità del tetto del primo acquifero dal piano campagna
- considerato lo spessore della copertura pari a 15 m (o alla differenza tra 15 e il valore del letto del riporto se presente), il passo successivo è stato quello di selezionare tutti gli strati compresi tra la profondità dal p.c. del tetto e del letto della copertura e ricavare il loro spessore e la loro permeabilità (ad ogni codifica è stato assegnato anche un valore di permeabilità legato alla composizione litologica come visualizzato in tabella 7.8.3.1.2).

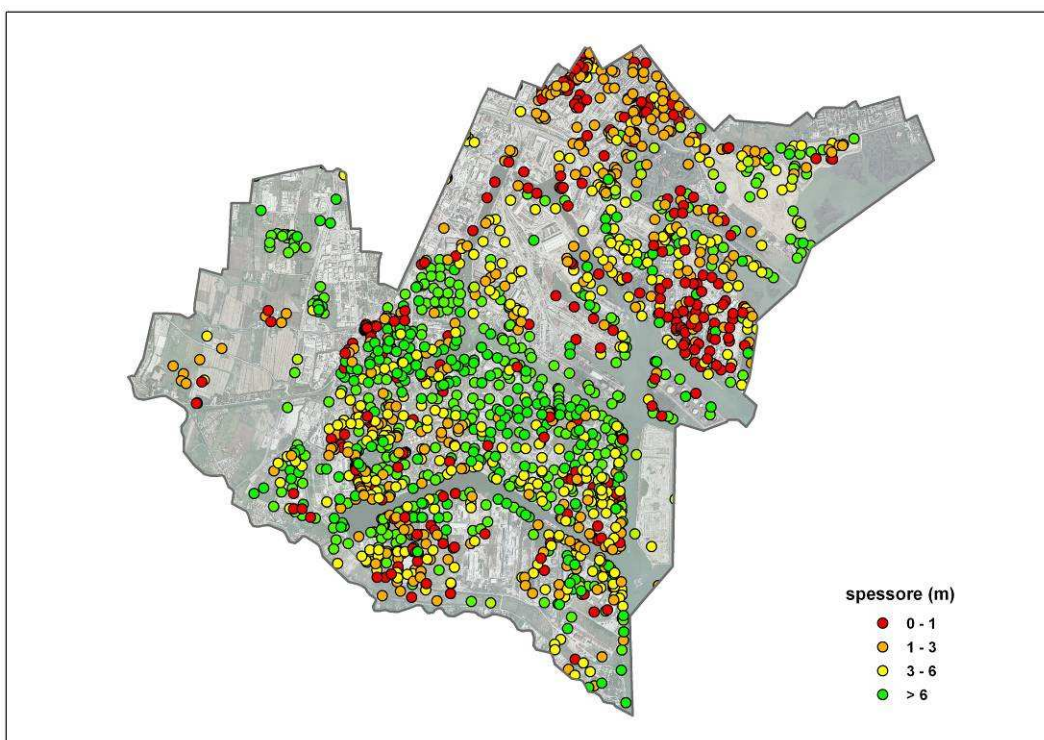


Figura 7.8.3.1.1 Spessore della copertura del primo acquifero presente nell'area S.I.N.

codifica	descrizione stratigrafica	permeabilità_m/s	classe di permeabilità
1020	argilla e limo	< 10e-8	7
1023	argilla limoso sabbiosa	tra 10e-8 e 10e-7	6
1032	argilla sabbioso limosa	tra 10e-8 e 10e-7	6
1220	argilla limosa	< 10e-8	7
1230	argilla sabbiosa	tra 10e-8 e 10e-7	6
1320	argilla deb limosa	< 10e-8	7
1330	argilla deb sabbiosa	< 10e-8	7
1400	argilla	< 10e-8	7
1900	caranto	< 10e-8	7
2010	limo e argilla	< 10e-8	7
2013	limo argilloso sabbioso	tra 10e-8 e 10e-7	6
2030	limo e sabbia	10e-6 - 10e-5	4
2031	limo sabbioso argilloso	10e-7 - 10e-6	5
2060	limo e torba	10e-7 - 10e-6	5
2110	limo con argilla	< 10e-8	7
2130	limo con sabbia	10e-6 - 10e-5	4
2210	limo argilloso	< 10e-8	7
2230	limo sabbioso	10e-6 - 10e-5	4
2310	limo deb argilloso	10e-7 - 10e-6	5
2330	limo deb sabbioso	10e-7 - 10e-6	5
2400	limo	10e-7 - 10e-6	5
3120	sabbia con limo	10e-6 - 10e-5	4
3210	sabbia argillosa	10e-6 - 10e-5	4
3220	sabbia limosa	10e-5 - 10e-4	3
3310	sabbia deb argillosa	10e-5 - 10e-4	3
3320	sabbia deb limosa	10e-5 - 10e-4	3
3400	sabbia	10e-4 - 10e-3	2

Tabella 7.8.3.1.2

Per ogni sondaggio è stata poi calcolata la *Permeabilità verticale equivalente al di sopra del primo acquifero* utilizzando la formula della permeabilità equivalente di strati eterogenei in serie:

$$k \text{ equivalente} = \frac{\sum L_i}{\sum L_i / k_i} \quad (\text{da } i=1 \text{ a } i=n)$$

L_i = spessore di ogni singolo strato

k_i = permeabilità di ogni singolo strato

I sondaggi utilizzati vengono tematizzati in base al valore della Permeabilità verticale equivalente della copertura del primo acquifero presente nell'area S.I.N. (Figura 7.8.3.1.3).

Da come si può notare dalla Figura 7.8.3.1.3, nell'area S.I.N., la permeabilità verticale equivalente della copertura del primo acquifero risulta generalmente bassa, ad eccezione dell'estremo nord dove le sabbie sono affioranti o quasi (Figura 7.8.2.4).

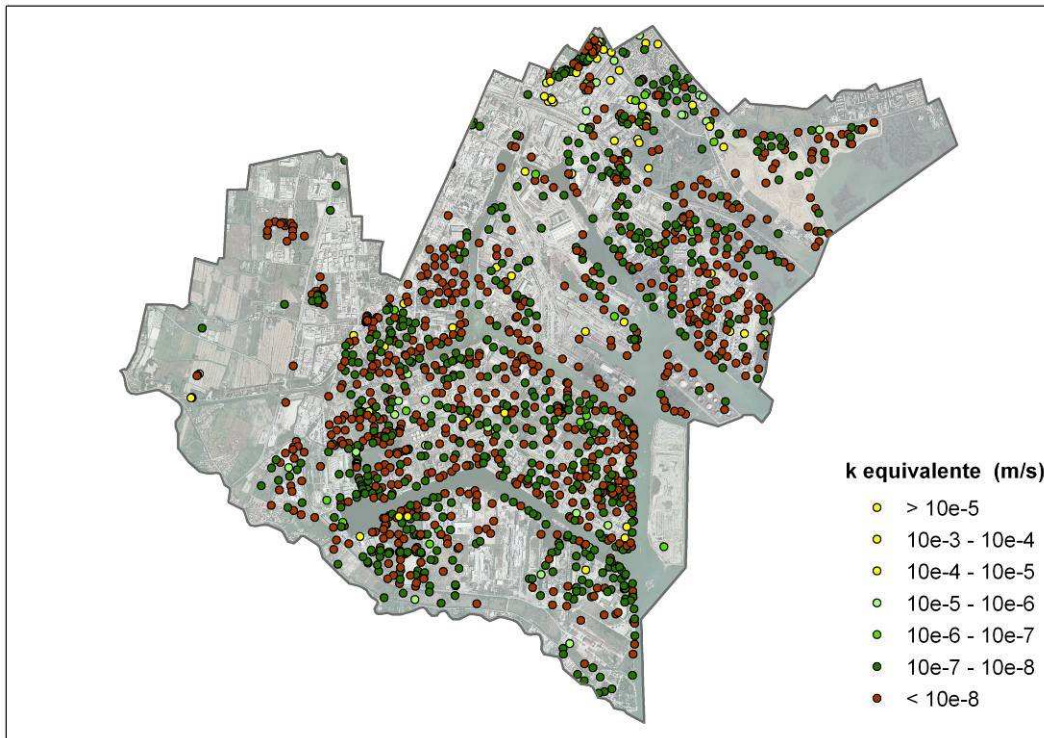


Figura 7.8.3.1.3

La formula del *Permeabilità verticale equivalente* mette in relazione la permeabilità di ogni singolo strato con il suo spessore. La presenza di un livello a bassa permeabilità, anche se di spessore modesto, influenza notevolmente il risultato tanto da ottenere in quel sondaggio analizzato un basso valore di k equivalente. Il risultato quindi è strettamente puntuale e non estendibile a tutta l'area, non avendosi garanzia di continuità tra i livelli impermeabili.

7.8.3.2 Indice di copertura del primo acquifero

Per ottenere una maggiore differenziazione nel valore della permeabilità della copertura e per poter assegnare un valore di permeabilità a tutta l'area analizzata si è quindi appositamente elaborato un indice che permettesse una zonazione del SIN in aree a diverso grado di "protezione" utilizzabile a scala areale e non solo limitatamente a valori puntuali.

Non avendo reperito una metodologia standardizzata, abbiamo introdotto un "*indice di copertura*" del primo acquifero.

La metodologia proposta riprende la logica su cui si basano i sistemi in uso da alcuni decenni per la realizzazione di cartografie di vulnerabilità intrinseca (o geologica) all'inquinamento.

L'Indice è stato scelto come sommatoria del prodotto tra la classe di permeabilità e lo spessore degli strati che compongono la copertura del primo acquifero (il risultato viene poi normalizzato a 100):

$$\text{Indice di copertura (Ic)} = \sum (k_{\text{classe}} \text{ (da } i=1 \text{ a } i=n) * L_i \text{ (da } i=1 \text{ a } i=n))$$

L'applicazione di questa nuova metodologia prevede che i sondaggi utilizzati vengano tematizzati in base al valore dell'*Indice di Copertura* così da ottenere una mappa puntuale (Figura 7.8.3.2.1).

Dall'interpolazione di questi dati puntuali (IDW) è stato possibile infine ottenere la *Carta dell'Indice di Copertura del primo acquifero* presente nell'area S.I.N. (Figura 7.8.3.2.2).

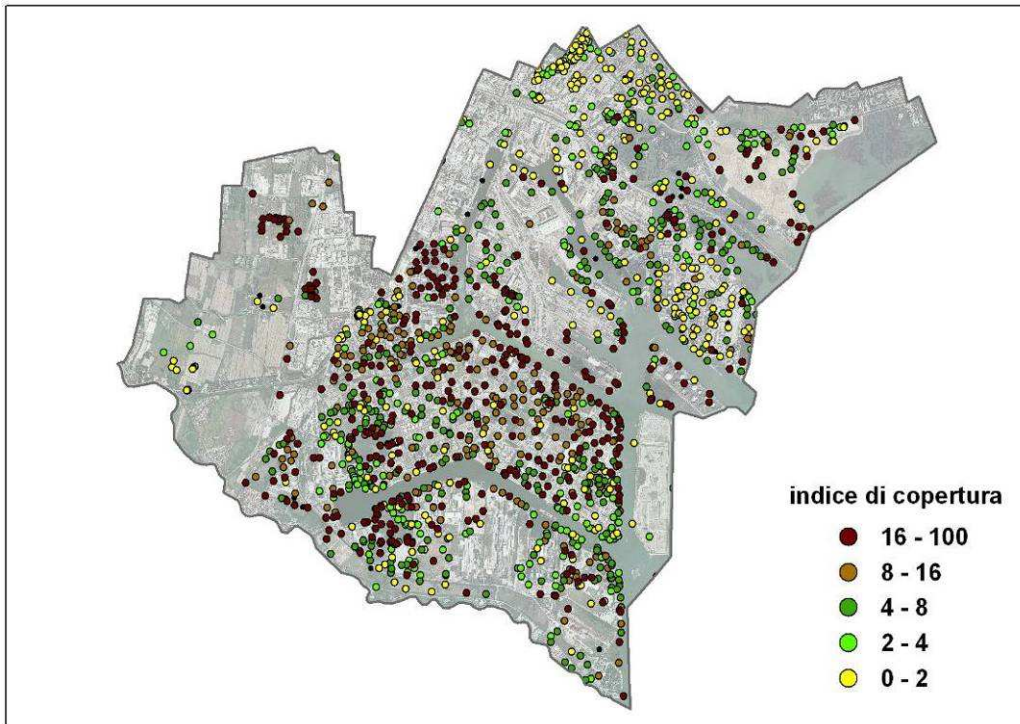


Figura 7.8.3.2.1

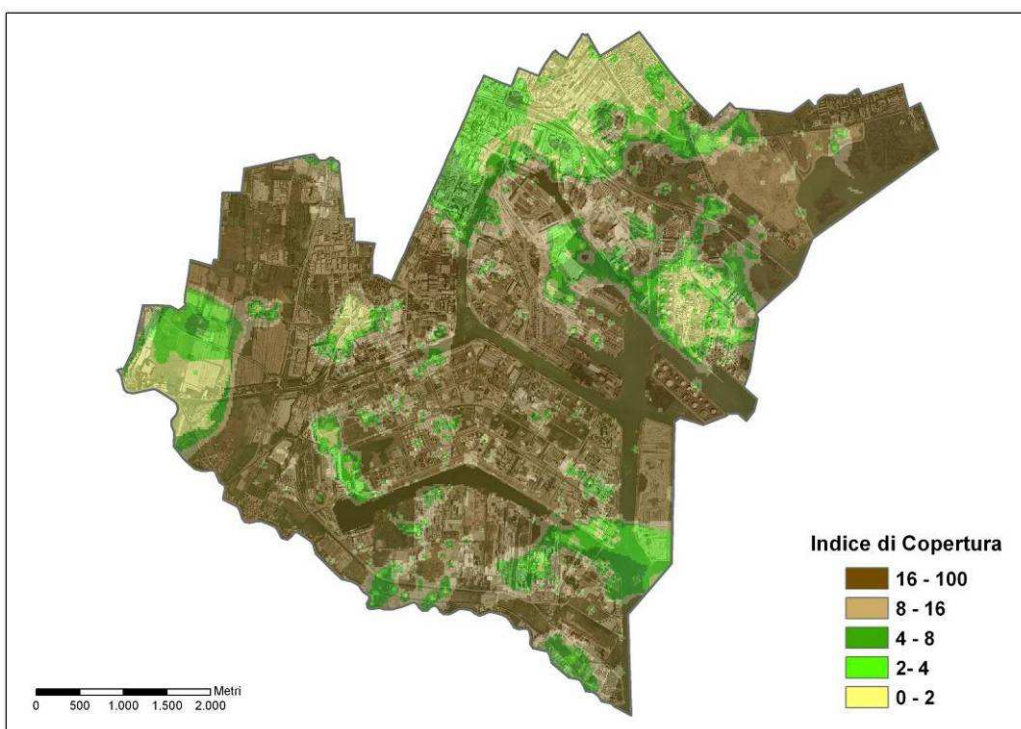


Figura 7.8.3.2.2

Questa carta differenzia le aree dove l'acquifero risulta più protetto (alto indice di copertura) rispetto ad aree dove il primo acquifero risulta meno protetto (basso indice di copertura). Si può notare che l'area maggiormente protetta è quella centrale mentre risulta meno protetta l'area nord-occidentale e l'estremo orientale (ossia, in prima approssimazione, le aree dove il tetto del primo acquifero significativo ha una profondità minore).

7.8.4. Il primo livello significativo di torba sottostante al caranto

Dalla banca dati della Provincia sono stati estratti e mappati i punti dei sondaggi, presenti all'interno del SIN, la cui stratigrafia ha reso evidente, cioè esplicitamente citato nella descrizione geologica del carotaggio, una lente o un livello torboso significativo nei primi venti metri della colonna.

Le torbe sono associate, nella quasi totalità dei casi, a sedimenti limoso-argillosi e sono composte di resti vegetali più o meno decomposti. Nell'area del SIN, nei primi venti metri dal piano campagna, si rinvengono in forma di piccole lenti sparse o livelli continui, di spessore dai 2 ai 20 cm, raramente in consistenze maggiori.

Dall'analisi delle stratigrafie si riscontra che, nella maggioranza dei casi, il livello di torba è immediatamente sottostante all'inizio di una fase a deposizione più grossolana, spesso erosiva sugli stessi limi argillosi torbosi.

La materia organica che ha dato origine alle torbe, si è accumulata in un ambiente alluvionale, probabilmente un bacino interfluviale, in suoli più o meno saturi d'acqua.

Gli ambienti alluvionali di pianura sono caratterizzati da un'ampia variabilità, sia orizzontale sia verticale, dove si alternano e si susseguono zone dinamiche a deposizione più attiva quali i canali meandriformi, con ambiti a diversa competenza di corrente e accompagnati da apparati arginali, e zone a deposizione più occasionale rappresentate da piane d'esonazione, morfologicamente più stabili per la crescita della vegetazione, o meandri abbandonati.

Le aree dell'alveo a sedimentazione più attiva tendono ad aggradarsi rispetto alla campagna circostante, su cui episodicamente riversano i sedimenti più fini negli eventi di piena. Su queste aree si accumula la materia vegetale che si trova decomposta a torba nelle carote; quindi a quote diverse rispetto alle coeve deposizioni sabbiose.

I punti sono stati classificati in base alla quota del tetto del primo livello torboso, presente inferiormente al caranto o a quote analoghe; di conseguenza sono stati esclusi i sedimenti torbosi olocenici depositi in ambiente di barena, presenti a quote sub-superficiali nella quasi totalità dell'area considerata.

La distribuzione dei 282 punti selezionati indica che la maggior parte (60,6%) delle quote cui si trovano le torbe, sono comprese fra -7,8 e -10,2 m s.l.m.; la mediana del set dei dati immessi è -8,98 m s.l.m. La distribuzione è rappresentata nella Figura 7.8.4.1.

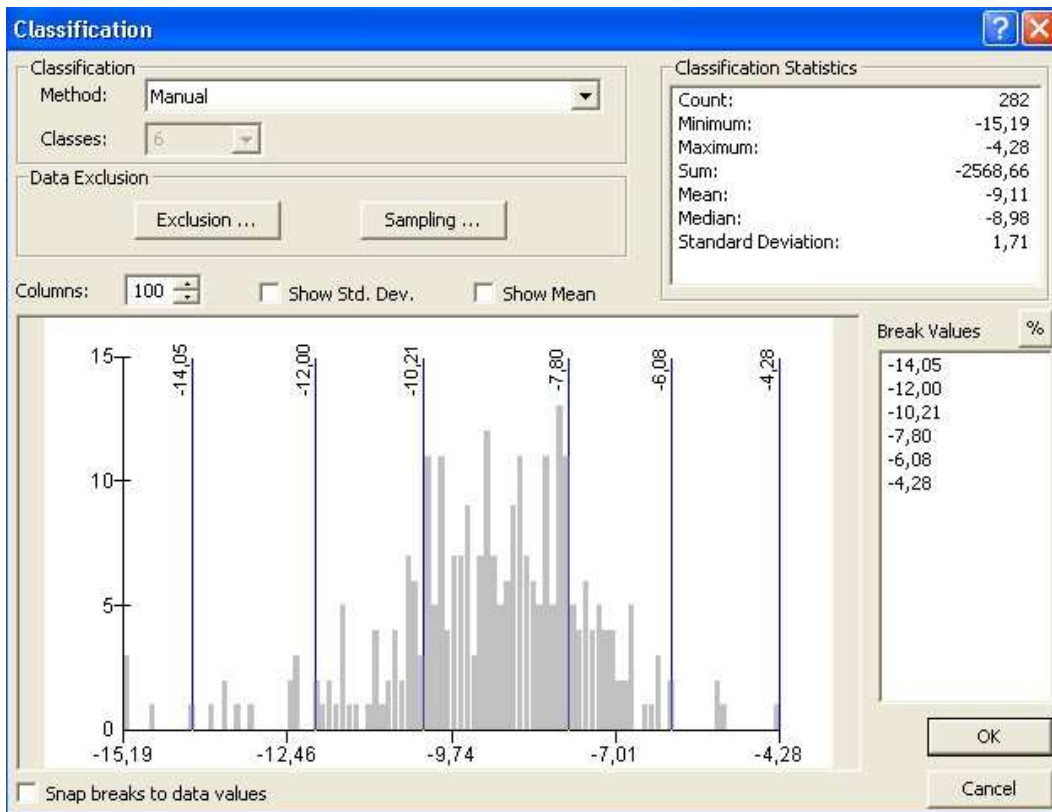


Figura 7.8.4.1

Se a livello di area SIN le quote sono disperse, la correlazione dei dati alla scala di macroarea è più significativa (Figura 7.8.4.2).

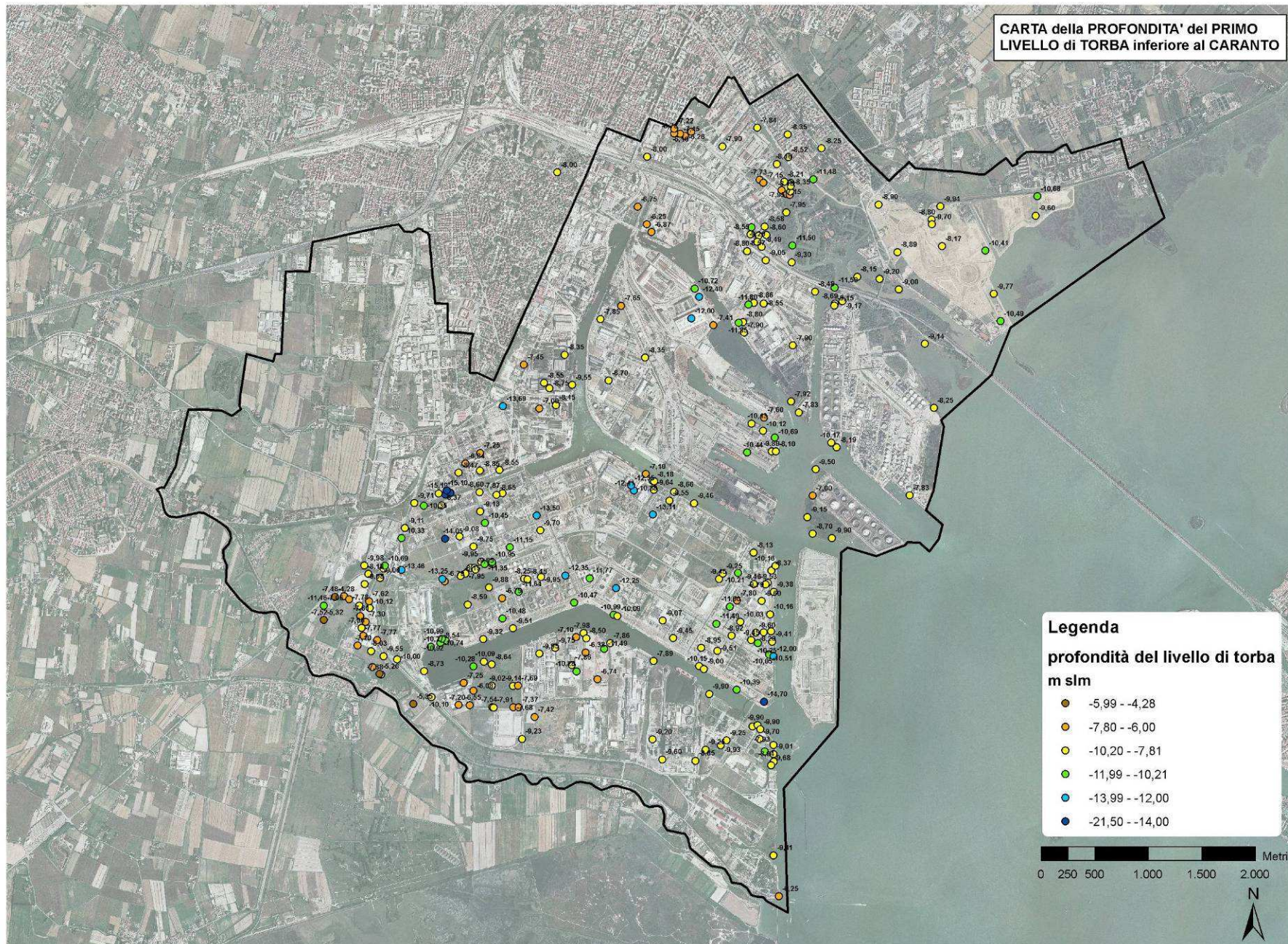
Nell'area settentrionale del SIN, per esempio, a nord del Canale industriale nord, si rileva la tendenza a un'omogeneità dei dati per fasce: l'area a NW attorno a valori la cui mediana è circa -7,4 m s.l.m. (e valori compresi fra -6,8 e -8,0 m); la fascia adiacente è attorno a -8,8 m s.l.m. (valori compresi fra -8,2 e -9,3 m anche se si trova qualche valore anomalo a -11 e -12 m), mentre l'area prospiciente alla laguna è attorno ai -9,5 m s.l.m. con valori compresi fra -9 e -10 m. La distribuzione delle quote può rappresentare, in quell'area, il letto dello strato sabbioso presente costantemente nella decina di metri più superficiale.

Attorno al Canale industriale sud, invece, si osserva una tendenza all'approfondimento della quota del tetto delle torbe spostandosi dalla porzione meridionale della macroarea Fusina (quote comprese fra -7,2 e -7,7 m e nei pressi della sponda sud fra -8,6 e -9,1 m) al lato settentrionale nella Penisola della Chimica (quote fra -10,0 e -11,0 m e più a nord a -12,0 m). La distribuzione delle quote a Fusina concorda con quanto osservato nell'area settentrionale.

Altre aree con valori uniformi sono: attorno al Canale industriale ovest con valori compresi fra -7,5 e -8,8 m; attorno al Molo Sali, nella parte più orientale del Canale industriale nord, con valori compresi fra -7,4 e -7,9 m; la parte orientale della macroarea Fusina con valori compresi fra -8,7 e -10,0 m.

Un'analisi di maggior dettaglio, utile sia per un'ulteriore taratura del modello concettuale geologico che per l'analisi del quadro geologico a scala provinciale potrà essere effettuata dopo le datazioni dei campioni ricavati dai sondaggi eseguiti dalla Provincia nei mesi di gennaio e febbraio 2009.

Si sottolinea come la distribuzione delle torbe sia stato comunque un elemento di grande utilità per la ricostruzione del quadro geologico, dettagliatamente descritto in altre parti del presente lavoro.



7.9 Indagini di approfondimento

7.9.1 Indagini geofisiche

7.9.1.1 Indagine di tomografia elettrica

L'indagine geofisica è consistita nell'esecuzione di 16 stendimenti di tomografia elettrica a Marghera e 2 stendimenti a Mestre. L'ubicazione è riportata in una finestra della tavola 12 allegata ("Profili tomografici").

Come si nota in allegato, nell'area di Marghera i 16 stendimenti sono ubicati pressoché su due linee parallele, e si trovano a Sud del percorso della tangenziale di Mestre e paralleli alla s.s.309. Si estendono su una linea N-S di lunghezza circa 3 km e, in totale, presentano uno sviluppo reale di circa 4300 m.

I due stendimenti presso Mestre seguono invece una direttrice circa N-S, con una lunghezza complessiva di 477 m.

Scopo dell'indagine è stato quello di apportare un ulteriore contributo alla conoscenza del sottosuolo, acquisendo informazioni utili alla ricostruzione del modello geologico-stratigrafico dell'area del bacino di Mestre-Marghera.

In particolare data la scarsità di informazioni geologiche sull'area posta a monte di Porto Marghera (nota come "aree agricole"), l'indagine geofisica ha avuto principalmente lo scopo di migliorare le conoscenze su questo settore.

Nelle indagini sono stati utilizzati due georesistivimetri mod. ABEM Terrameter SAS1000 e SAS4000 con compensazione automatica dei potenziali spontanei.

Il trasmettitore di corrente opera con correnti da 0.2 a 1000 mA, con un voltaggio massimo di 400 V ed un impulso t di corrente variabile da 0.1 a 4 sec. Il ricevitore, a uno o a quattro canali, ha un'impedenza min. di 10 M Ω , e acquisisce con un range massimo di $\pm 400V$. La precisione di $\Delta V/I$ risulta superiore allo 0.5%.

I dati sono stati elaborati e interpretati in termini di profilo di resistività mediante il software Resistivity Imager 2D[®] prodotto dalla Geotomographie.

7.9.1.2 Cenni sulle indagini elettriche di resistività

La resistività elettrica rappresenta una delle proprietà fisiche più utilizzate per l'esplorazione geofisica del sottosuolo, grazie soprattutto all'ampio spettro di valori che essa può assumere al variare della natura dei corpi investigati.

Questa metodologia rappresenta uno dei sistemi d'indagine più conosciuti e affidabili, le cui principali applicazioni consentono di ricostruire la stratigrafia di massima dei terreni, rilevare la presenza di strutture sepolte, effettuare ricerche idriche o di acquiferi a diverso grado salino, monitorare movimenti degli acquiferi stessi o di fluidi in generale, mappare siti contaminati. Tale sistema d'indagine consente di ottenere la distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo, elettricamente disomogeneo, immettendo una corrente continua mediante due elettrodi conficcati nel terreno, detti convenzionalmente AB, e misurando contemporaneamente la differenza di potenziale (d.d.p.) associata al campo elettrico generato tra due elettrodi distinti dai primi, detti convenzionalmente MN (Figura 7.9.1.2.1).

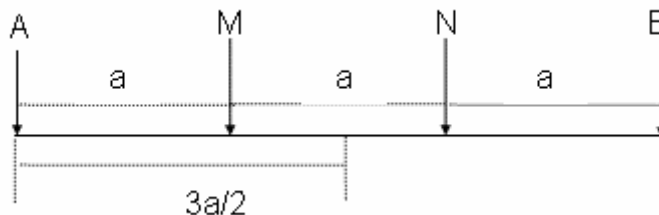


Figura 7.9.1.2.1. - Schematizzazione del dispositivo quadrupolare tipo WENNER utilizzato per l'acquisizione dei dati di resistività elettrica. AB: elettrodi di corrente; MN: elettrodi di potenziale.

Variando la distanza tra gli elettrodi A e B, o tra M e N, o tra AB e MN, e misurando ogni volta la corrente immessa agli AB e la differenza di potenziale "d.d.p." risultante agli MN, si ottiene la resistività detta apparente, secondo la formula:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \text{ dove } k = \pi \frac{AM * AN}{MN} \quad (\Omega m)$$

in cui k è la costante geometrica del dispositivo quadrupolare e dipende soltanto dalle distanze interelettrodiche.

Il valore di resistività apparente varia in funzione: a) della posizione reciproca degli elettrodi A, B, M e N (quadrupolo elettrico), in quanto parti diverse del corpo vengono investigate dal passaggio della corrente; b) dalla misura della risposta in termini di d.d.p.

A causa della loro maggiore convenienza in termini di tempi di esecuzione delle misure, la pratica geofisica ha privilegiato alcune combinazioni dei 4 elettrodi A, B, M e N, come ad esempio quella di Figura 7.9.1.2.1, detta quadrupolo "Wenner", dove gli elettrodi sono equidistanziati e sullo stesso asse.

A passo costante (distanza interelettrodica) corrisponde una profondità di investigazione all'interno del corpo all'incirca costante, mentre per ottenere un'informazione anche secondo la profondità occorre allargare progressivamente il passo del quadrupolo.

L'altra geometria quadrupolare adottata è stata quella di "gradiente" (Gradient Array), che presuppone la disponibilità di uno strumento multicanale in grado di effettuare sino a 4 misure di resistività contemporaneamente. In questo caso si mantiene fissa la posizione degli elettrodi di corrente, traslando quelli di potenziale e misurando di volta in volta la d.d.p.

La schematizzazione del dispositivo tipo "Gradient Array" è riportata in Figura 7.9.1.2.2, con C₁ C₂ elettrodi di corrente e p₁ p₂ elettrodi di potenziale.

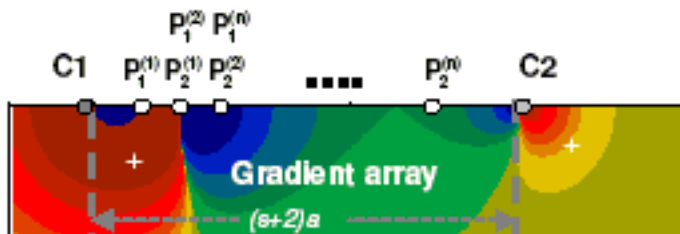


Figura 7.9.1.2.2 - Schematizzazione del dispositivo quadrupolare tipo "Gradient array" utilizzato per l'acquisizione dei dati di resistività elettrica.

Queste misure, peraltro effettuate solo negli stendimenti 17 e 18, risultano avere una grande capacità risolutiva sia in senso verticale che laterale, ma essendo composte da un numero di punti di misura molto

elevato rispetto ai dispositivi elettrodici “tradizionali”, non sono molto praticate. Nel caso specifico la strumentazione utilizzata per i profili 17 e 18 (Terrameter SAS4000 e ES10-64C) ha permesso di misurare in contemporanea diversi punti di misura rendendo di fatto possibile l'applicazione del metodo.

La tomografia elettrica rappresenta la tecnica di indagine geoelettrica che permette di acquisire informazioni in simultanea dipendenza della profondità e della distanza orizzontale interelettrodica, e che quindi consente di ottenere informazioni reali sui valori di resistività sia in senso verticale che laterale (lungo cioè una sezione bidimensionale).

Questa metodologia di misura, che nella pratica geofisica costituisce l'evoluzione attuale della nota prospezione geoelettrica, è stata messa a punto alcuni anni fa sfruttando i progressi dell'elettronica, sia per un'acquisizione automatica sul campo che per un'interpretazione dei dati in termini bi- e tri-dimensionali.

Tale tecnica permette di disporre sul terreno da investigare un numero elevato di elettrodi (32, 64 o più), con distanza reciproca dipendente dalla risoluzione e dalla profondità d'indagine richieste; attraverso gli elettrodi viene alternativamente inviata corrente o misurata la differenza di potenziale, in una sequenza pre-programmata. Si ottiene così l'andamento sia verticale che laterale della resistività apparente, che è uso rappresentare in forma di pseudosezione, ossia come tabella di valori organizzati in un piano di riferimento dove sull'asse orizzontale si riporta un valore corrispondente alla distanza sul terreno tra gli elettrodi più esterni, e sull'asse verticale un'ordinata ricavata dalla complessiva larghezza del quadripolo.

Il risultato è quindi una Figura bidimensionale nella quale tutti i punti di eguale resistività apparente vengono collegati da una curva detta isoresistiva. Questo quadro deve essere quindi opportunamente “interpretato” in modo da poter desumere dalle resistività apparenti i valori della resistività reale e la geometria della sua distribuzione.

7.9.1.3 Risultati delle indagini

La riproduzione grafica dei profili è riportata con due diverse tonalità cromatiche nella tavola 12 allegata (“Profili tomografici”). Convenzionalmente, all'atto del perfezionamento della resa grafica, si è deciso di uniformare la scala di tutti i profili utilizzando un range di resistività comune, compreso tra 15 e 150 ohm/m. In uno dei due allegati (2A) è presente una scala cromatica a tonalità progressive, mentre nell'altro (2B) sono state adottate 5 classi di resistività, con colori assimilabili alle codifiche litologiche utilizzate per l'archiviazione informatizzata dei sondaggi da parte del Servizio Geologico della Provincia di Venezia. Inoltre, gli stendimenti condotti in continuità sono stati elaborati come file unico ($n_2+n_3+n_4$ e $n_{17}+n_{18}$). Quando disponibili, ai profili sono stati associati anche i sondaggi effettuati o lungo il profilo stesso, o nelle immediate vicinanze.

E' stata adottata una geometria “tipo Wenner” nei profili 1-16, e “tipo Gradient Array” per il 17 e il 18, con interdistanze interelettrodiche variabili da 3 a 5 m. Le profondità di investigazione raggiunte variano a seconda della lunghezza dello stendimento, da 30 a 60 m circa.

Nell'ordine, le lunghezze degli stendimenti sono così ripartite:

ERT 1	315 m
ERT2+3+4	842 m
ERT 5	470 m
ERT 6	470 m
ERT 7	155 m
ERT 8	315 m
ERT 9	315 m
ERT 10	315 m
ERT 11	200 m
ERT 12	143 m
ERT 13	193 m
ERT 14	200m
ERT 15	155 m
ERT 16	200 m
ERT 17+18	477 m

I sedici stendimenti di tomografia elettrica condotti nell'area di Marghera, come detto in premessa, sono disposti su due linee parallele circa N-S, a distanza compresa tra 500 m e 1.1 km. Solo lo stendimento n.9 risulta essere trasversale rispetto alla direttrice principale N-S. Dall'osservazione dei risultati, si nota una marcata eterogeneità nella distribuzione dei corpi resistivi, con un andamento prevalente suborizzontale, ma che non esclude la presenza di lenti o zone ad allineamento subverticale, a testimonianza della mescolanza, in questa zona di bassa pianura, di litologie fini e litologie più grossolane. Il confronto con le risultanze dei sondaggi (11659, 40190, 40192, 49563) conferma la corrispondenza tra corpi poco resistivi e litologie fini (impermeabili) quali argille e limi argillosi, mentre, al contrario, i termini più grossolani come limi sabbiosi e sabbie risultano moderatamente o fortemente resistivi. L'intersezione in molti profili con corpi ad alta resistività superficiali (ad es. n.2+3+4, n.11, n.15, n.16), testimonia la presenza di corpi sabbiosi riconducibili a tracce fluviali, paleoalvei e dossi fluviali. In linea molto generale, i primi 10–20 m di profondità appaiono spesso caratterizzati da un andamento sub-orizzontale delle iso-resistive, con una diminuzione della resistività con la profondità. Eccezioni sono i profili n.10 e il n.14; quest'ultimo rappresenta anche l'unico stendimento di Marghera ad aver registrato valori di resistività medio-basse, sempre < 75 ohm/m.

I due stendimenti di Mestre (n.17 e 18), con direzione NNE-SSW, sono stati condotti su un lotto di terreno agrario posto tra le vie Amerigo Vespucci (ad Ovest) e Martiri della libertà (ad Est). Per essi è stato utilizzato il dispositivo quadripolare tipo "gradiente", e l'elaborazione dei dati è stata effettuata unificando le due misure in un file unico. I risultati dell'inversione indicano un terreno piuttosto omogeneo e poco resistivo, una valutazione difforme rispetto alle litologie segnalate dal nuovo sondaggio eseguito dalla Provincia, distante oltre 150 m. La stratigrafia, infatti, ha rilevato la presenza di un banco sabbioso sub-superficiale di circa 10 m di spessore. Tale difformità può essere dovuta alla distanza che intercorre tra il carotaggio e lo stendimento tomografico.

7.9.2 I nuovi carotaggi dello Studio Idrogeologico di Porto Marghera

A completamento dell'indagine idrogeologica sono stati eseguiti otto sondaggi a carotaggio continuo profondi fra 30 e 40 m con prelievo di campioni a vari livelli e l'installazione di piezometri.

I carotaggi sono stati eseguiti dalla ditta Vicenzetto srl, la direzione lavori e l'interpretazione geologico-stratigrafica sono state affidate a geologi incaricati appositamente dalla Provincia.

I sondaggi sono stati ubicati in aree particolari del SIN e immediati dintorni, in quanto si mirava a chiarire l'assetto stratigrafico di zone particolarmente rappresentative per la ricostruzione del quadro geologico e/o sguarnite di dati geologici.

I nuovi sondaggi sono catalogati nel modo seguente:

S1 – VESTA, ubicato nello stabilimento Veritas di Fusina, ha raggiunto una profondità di 39,7 m;

S2 – MALCONTENTA, in un'area agricola del Demanio Militare a Malcontenta con profondità di 30 m;

S3 – ROMEA, nei pressi dell'incrocio fra via Seriola e la SS. Romea a Malcontenta con profondità di 31 m;

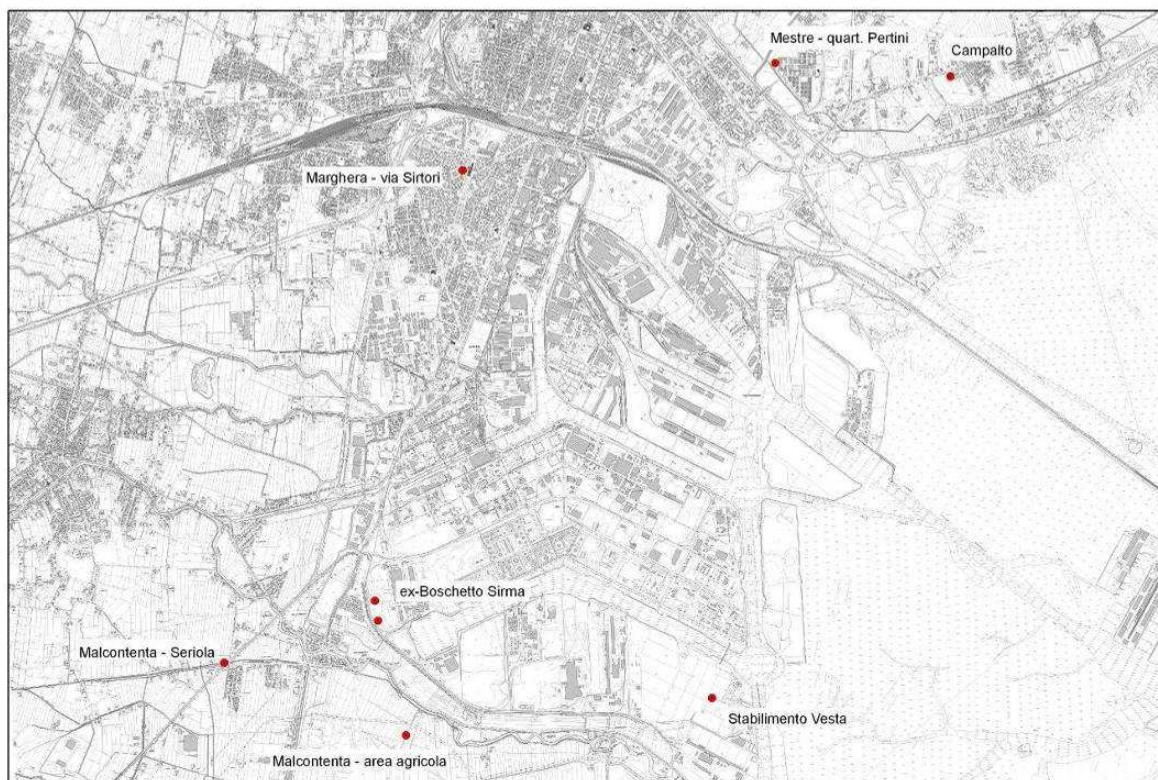
S4 e S5 – EX BOSCHETTO SIRMA SUD e NORD, in un'area industriale prossima alla Darsena Sud con profondità raggiunte rispettivamente di 34,5 m e 40,12 m;

S6 – CHIESA MARGHERA, in via Sirtori, in prossimità della chiesa di S. Antonio a Marghera, con profondità di 30 m;

S7 – Q.PERTINI, in un'area del Quartiere Pertini a Mestre con profondità di 30 m;

S8 – CAMPALTO, in via Orlanda a Campalto presso l'area di rifornimento carburante ex-Shell, dove è stata raggiunta la profondità di 30 m.

Le ubicazioni dei carotaggi sono riportate nella figura seguente e a scala differente nell'allegato A "I Nuovi Sondaggi Geologici", dove sono indicate anche le coordinate.



Nell'ambito di questa attività sono anche stati raccolti 40 campioni di resti vegetali e 94 campioni di torbe; 17 dei quali avviati al laboratorio per la datazione. Sono stati inoltre raccolti 4 campioni di molluschi fossili.

Sette sondaggi sono stati completati a piezometro, con le seguenti caratteristiche:

Nome	Fondo piezometro (m da b.p.)	Tratto fessurato (m da p.c.)	Quota assoluta p.c. (m s.l.m.)	Quota relativa b.p. (m da p.c.)
S1 – Vesta	12 m	12 – 7,5 m	2,97	3,16
S2 – Malcontenta	15 m	15 – 12 m	0,04	0,04
S4 – ex-Boschetto Sirma Sud	27 m	27 – 9 m	1,89	1,70
S5 – ex-Boschetto Sirma Nord	24 m	24 – 15 m	1,42	1,32
S6 – Marghera	9 m	9 – 6 m	2,14	1,98
S7 – Quartiere Pertini	15 m	15 – 3 m	1,65	1,48
S8 – Campalto	9 m	9 – 3 m	1,59	1,53

Il carotaggio S3 non è stato completato a piezometro in quanto pressoché privo di strati acquiferi.

Sono state condotte in campo una serie di misure sulla permeabilità degli acquiferi intercettati.

Sono state eseguite otto prove Lefranc, contestualmente all'esecuzione del carotaggio, e sette slug test (uno per ogni piezometro installato), per i cui risultati in dettaglio si rimanda all'allegato A. I valori dei k (m/s) indicati s'intendono come valori medi sull'intero tratto in prova.

Nome	Tratto in prova (m da p.c.)	k (m/s) da prove Lefranc	Tratto fessurato (m da p.c.)	k (m/s) da slug test
S1 – Vesta	8,4 – 7,9 m	$1,31 \cdot 10^{-6}$	12 – 7,5 m	$8,44 \cdot 10^{-6}$
S2 – Malcontenta	6,0 – 5,5 m	$2,33 \cdot 10^{-5}$	15 – 12 m	$5,13 \cdot 10^{-5}$
S2 – Malcontenta	14,0 – 13,5 m	$5,94 \cdot 10^{-6}$	15 – 12 m	
S4 – ex-Boschetto Sirma Sud	13,0 – 13,5 m	$1,15 \cdot 10^{-5}$	27 – 9 m	$7,87 \cdot 10^{-5}$
S5 – ex-Boschetto Sirma Nord	19,5 – 19,0 m	$1,41 \cdot 10^{-5}$	24 – 15 m	$6,19 \cdot 10^{-6}$
S6 – Marghera	7,5 – 7,0 m	$6,55 \cdot 10^{-5}$	9 – 6 m	
S7 – Quartiere Pertini	7,5 – 7,0 m	$3,15 \cdot 10^{-5}$	15 – 3 m	
S8 – Campalto	5,8 – 5,3 m	$4,25 \cdot 10^{-5}$	9 – 3 m	

Inoltre sono stati eseguiti logs di caratterizzazione fisico-chimica della falda intercettata, attraverso l'utilizzo di una sonda multiparametrica Hydrolab. I logs hanno registrato ogni metro di profondità i parametri temperatura, pH, potenziale redox, conducibilità, salinità ed ossigeno disciolto.

I dati approfonditi delle stratigrafie e delle prove idrogeologiche sono contenute nell'allegato A "I Nuovi Sondaggi Geologici".

7.9.3 Datazioni

Dall'esame stratigrafico del sottosuolo dell'area di studio è emersa la presenza di livelli torbosi a diverse profondità, alcuni dotati di buona continuità laterale alla scala del sito di indagine.

I livelli ricchi di sostanza organica sono potenzialmente buoni marker stratigrafici. Inoltre mediante la datazione radiometrica del ^{14}C in essi contenuto, forniscono riferimenti cronologici assoluti relativi all'evoluzione spazio-temporale del settore di pianura in esame.

Uno degli obiettivi dei carotaggi continui eseguiti nell'ambito della indagine, è stato il campionamento e la datazione di livelli torbosi ritenuti significativi. Tali si intendono gli strati di torba che, ad un'analisi stratigrafica complessiva, appaiono situati in posizioni chiave, come alla base o al tetto di un corpo sedimentario (un banco sabbioso, un paleo-alveo). In simili situazioni la datazione della sostanza organica dei livelli torbosi fornisce un'età sufficientemente precisa dell'epoca di attivazione o disattivazione dei processi che hanno

formato il corpo sedimentario adiacente e quindi permettono verifiche sulla correttezza della interpretazione della ricostruzione del modello concettuale geologico.

7.9.3.1 Datzioni eseguite nel 2008

In via preliminare sono state eseguite due datazioni radiometriche su campioni prelevati da carotaggi messi a disposizione dal Magistrato delle Acque, esaminati nell'estate del 2007. I campioni provengono da strati di torba posti a 9,8 m e 12,5 m di profondità nel sottosuolo di Mestre e Malcontenta, rispettivamente.

Numerose stratigrafie della banca dati del Servizio Geologico provinciale riportano a queste quote la presenza di livelli organici, torbe o semplicemente una maggior concentrazione di resti vegetali, la cui presenza indica una stasi dei processi sedimentari fra la deposizione delle sabbie profonde e quelle superficiali. La datazione della sostanza organica ha fornito un'età non calibrata molto simile, intorno a 19.000 anni BP. Di seguito si riporta una tabella di sintesi delle datazioni radiometriche e le stratigrafie dei carotaggi con i dettagli dei livelli campionati.

Sondaggio	Ubicazione	Profondità (m da p.c.)	Materiale	Datazione ¹⁴ C (anni BP)
MM S10	Macroisola Malcontenta	12.54-12.60 m	Torba	19.010±330
MN S19 PZ28	Macroisola Nord	9.74-9.80 m	Torba	19.800±210

Sondaggio MM S10 - 40639

Macroisola Malcontenta

Coordinate Gauss-Boaga (fuso est): 2301890,111 E; 5036199,254 O (ubicazione in scala 1:25000ca)



0,00-3,40 m

Quadro geologico

Riporto (ghiaia e ciottoli in matrice argilloso-limosa)

3,40-5,40 m

Limo argilloso, a tratti debolmente sabbioso. In alcuni tratti è visibile una laminazione fine (lamine millimetriche) e regolare. Colore marrone scuro fino a 3,65 m, poi grigio. A partire da 3,75 m si osservano patine biancastre di carbonato di calcio e fra 3,75 e 3,85 m è presente un livello ricco di concrezioni di 4-5 mm di diametro. L'effervescenza all'acido cloridrico è molto bassa nei livelli superiori, in graduale aumento da 3,65 m fino a diventare molto vivace.

5,40-8,15 m

Limo argilloso e debolmente argilloso con intercalazioni sabbiose intorno a 6 m.
Livello calcico fra 6,20 e 6,50 m, con concrezioni carbonatiche sparse di 4-5 mm.
Verso il basso aumenta progressivamente la frazione sabbiosa.

8,15-11,80 m

Sabbia media (granuli di 500-600 μm), con gradazione normale nella parte superiore (8,15-8,70 m). A partire da 9,90 m si notano clasti limosi centimetrici sparsi. Il limite inferiore è erosivo.

11,80-12,50 m

Limo argilloso. Presenti frustoli carboniosi parzialmente decomposti e una sottile intercalazione di torba a 12,42 m.

12,50-12,60 m

Torba nerastra con matrice limosa. Presente un'intercalazione limosa fra 12,51 e 12,55 m. L'effervescenza all'acido cloridrico è vistosa.

Un campione prelevato da questo livello (12,54-12,60 m) ha fornito un'età ^{14}C non calibrata di 19.010 \pm 330 anni BP.

12,60-13,60 m

Limo argilloso e debolmente argilloso con gradazione normale: verso il basso diminuisce la frazione argillosa e compare una componente sabbiosa fine.

13,60-14,65 m

Successione di livelli decimetrici sabbiosi e sabbioso limosi (sabbia media e fine) a base erosiva. Fra 13,80 e 14,10 m è presente un'intercalazione di limo argilloso con una lente torbosa.

14,65-15,25 m

Limo debolmente argilloso con frequenti intercalazioni sabbiose.

15,25-16,90 m

Limo debolmente argilloso, con frequenti sottili intercalazioni torbose do spessore centimetrico. A partire da 15,50 vi sono alcuni intervalli di 5-10 cm di limo sabbioso. Diffusi gusci di gasteropodi continentali planispirali.

Il limite inferiore è netto, non erosivo.

16,90-17,65 m

Sabbia media (400-500 μm) con gradazione normale verso sabbia fine limosa. Sporadici clasti limosi, frequenti al letto. Il limite inferiore è erosivo.

17,65-18,55 m

Sabbia fine (100-200 μm) debolmente limosa. Intercalazione di limo sabbioso fra 18,0 e 18,1 m. Al letto si notano tracce di laminazione. Il limite inferiore è graduale, con una progressiva diminuzione della granulometria.

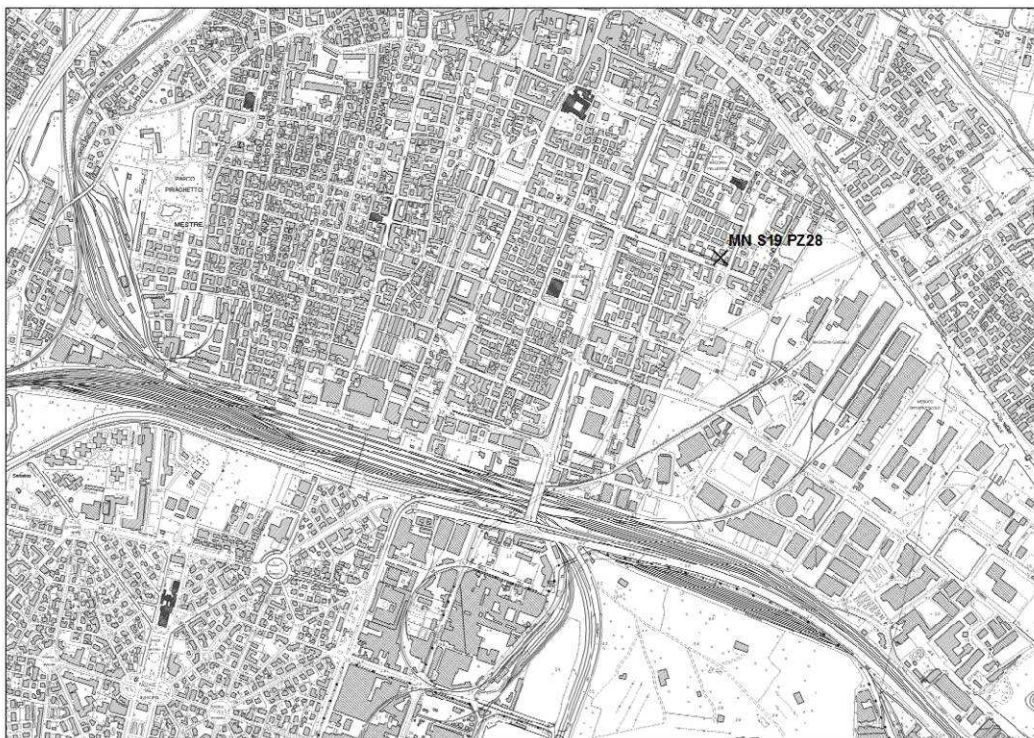
18,55-20,00 m

Limo argilloso con frequenti lamine nerastre ricche di sostanza organica. Da 19,00 m inizia un'alternanza di strati di 8-10 cm di limo sabbioso e limo argilloso, sempre in presenza di lamine torbose.

Sondaggio MN S19 PZ28 - 40630

Macroisola Nord

Coordinate Gauss-Boaga (fuso est): 2304721,30 E; 5040483,30 O.



0,00-1,80 m

Riporto

1,80-3,80 m

Sabbia media (500-600 μm) passante verso l'alto a sabbia fine limosa. A tratti è ben visibile una laminazione fine (lamine millimetriche) e regolare. Il limite inferiore è molto graduale

3,80-9,60 m

Sabbia medio-grossolana (600-700 μm , fino a 1500 μm fra 7,50 e 9,60 m) con gradazione normale, passante a sabbia medio-fine (200-300 μm) nella parte alta, dove è visibile una laminazione fine. Sono presenti sparse intercalazioni di sabbia fine o limo sabbioso, per lo più ben laminati. Il limite inferiore è erosivo.

9,60-9,75 m

Limo con argilla finemente laminato.

9,75-9,80 m

Torba di colore marrone scuro. Un campione ha fornito un'età 14 C non calibrata di 19.800 ± 210 anni BP.

9,80-12,60 m

Limo argilloso, con un intervallo debolmente sabbioso fra 10,50 e 11,40 m. Ben visibili laminazioni millimetriche. Intercalazioni sabbiose nella parte inferiore (11,75-12,60 m).

12,60-14,15 m

Sabbia finissima, finemente laminata. Intercalazione limosa fra 12,9 e 13,45 m. Presenti rari clasti limosi di qualche millimetro nella parte basale.

14,15-14,30

Torba

14,30-17,25 m

Limo debolmente sabbioso e debolmente argilloso. Laminazione millimetrica ben visibile fino a 16,20 m, dove un limite netto, non erosivo, segna il passaggio ad un livello più massivo.

17,25-17,30 m

Torba

17,30-20,00

Limo argilloso con intercalazioni sabbiose e organiche.

7.9.3.2 Campionamenti dai carotaggi eseguiti per l'indagine idrogeologica

Dai carotaggi eseguiti all'inizio del 2009 sono stati prelevati un notevole numero di campioni di materiale organico. Tra questi ne sono stati scelti 17, prelevati da livelli in posizione stratigrafica idonea per ottenere riferimenti cronologici assoluti nell'evoluzione del settore della pianura su cui insiste l'area del S.I.N., in relazione soprattutto ai periodi in cui sono stati depositi i corpi sabbiosi che costituiscono gli acquiferi oggetto dell'indagine idrogeologica. I campioni raccolti sono stati inviati al laboratorio di analisi. L'esecuzione di queste analisi specialistiche richiede un tempo di alcune settimane. Di seguito si riporta l'elenco dei campioni prelevati ed una breve spiegazione del contesto stratigrafico che ha motivato la loro scelta.

Si ricorda che i report geologico stratigrafici dei carotaggi eseguiti nell'ambito della indagine sono riportati in allegato.

Progr.	Sondaggio	Sigla Campione	Profondità da p.c.	Materiale
1	S1	S1-01	4,2 m	Torba
2	S1	S1-02	12,75 m	Torba
3	S2	S2-03	10,91 m	Resti vegetali in limo organico
4	S2	S2-04	15,10 m	Torba
5	S3	S3-05	10,95 m	Torba
6	S3	S3-06	14,05 m	Resti vegetali in limo organico
7	S3	S3-07	20,40 m	Resti vegetali in limo organico
8	S3	S3-08	22,00 m	Resti vegetali in limo organico
9	S3	S3-09	26,60 m	Resti vegetali in limo organico
10	S3	S3-10	30,01 m	Torba
11	S4	S4-11	10,30 m	Torba
12	S4	S4-12	21,49 m	Resti vegetali in sabbia
13	S4	S4-13	28,05 m	Resti vegetali in sabbia
14	S4	S4-14	28,75 m	Resti vegetali in limo organico
15	S5	S5-15	31,55 m	Torba
16	S7	S7-16	16,13 m	Torba
17	S7	S7-17	25,70 m	Torba

S1 – Stabilimento Vesta

Nella stratigrafia del carotaggio S1 si individua un banco sabbioso posto fra 7,4 e 11,7 m, caratterizzato da un livello basale spesso pochi centimetri contenente sabbia ghiaiosa con ciottoli di 1-1,5 cm. I campioni provengono da livelli torbosi posti in prossimità del tetto e della base del banco sabbioso e permetteranno di stimare il periodo di attività del fiume che lo ha depositato.

S2 – Malcontenta

I campioni prelevati dal sondaggio S2 provengono da livelli organici a tetto e a letto di un banco sabbioso posto fra 11,8 e 15,1 m. Questo si presenta con base erosiva e una gradazione normale regolare da sabbia medio-fine alla base a sabbia fine al tetto, fino a limi e limi argillosi fra 11,8 e 10,91 metri; il livello limoso organico campionato chiude la sequenza. Con simili caratteristiche, il banco sabbioso ha l'aspetto di un unico corpo di canale, con la successione sedimentaria completa costituita dai sedimenti di canale attivo e dalla sequenza di disattivazione, con il tappo di limi organici alla sommità indicante l'impaludamento della depressione di alveo abbandonato. La datazione dei due campioni permetterà di individuare il periodo di attività del paleo-canale, in una situazione non frequente in cui si può stimare sia il momento di attivazione che quello di disattivazione.

S3 – Romea

Il carotaggio S3, privo di corpi sabbiosi significativi, rappresenta una sequenza di piana di esondazione, con frequenti livelli a sedimentazione organica. I campioni provengono tutti da livelli torbosi, ad eccezione del S3-05, prelevato da limo organico al tetto del paleosuolo ritenuto alla base dei sedimenti pertinenti all'ultima massima espansione glaciale (circa 27.000 anni BP). La datazione di questi sei campioni, confrontate con datazioni acquisite in altri settori della pianura, permetterà di stimare il tasso di aggradazione della pianura, valutato in ambienti deposizionali distanti dai canali attivi. Inoltre, il confronto fra queste datazioni e quelle dei campioni relativi ai corpi sabbiosi aiuterà ad interpretare le dinamiche sedimentarie legate alla messa in posto di questi ultimi e quindi a tarare ulteriore il modello concettuale geologico.

S4 – Ex-Boschetto Sirma Sud

Questo carotaggio è caratterizzato dalla presenza di un banco sabbioso pressoché continuo da 10,3 a 28,2 m, formato da una successione di corpi di canale sovrapposti. I campioni provengono dalla testa di un paleosuolo di poco più profondo della base erosiva delle sabbie (S4-14), da resti vegetali fluitati rinvenuti all'interno delle sabbie (S4-12 e S4-13) e da un livello di torba che chiude una sequenza con gradazione normale al tetto del banco sabbioso (S4-11), segnando la disattivazione del corpo di canale più recente. I campioni permetteranno di datare fasi successive della messa in posto del banco sabbioso. Sarà interessante il confronto con le date ottenute dal carotaggio S3.

S5 – Ex-Boschetto Sirma Nord

Il carotaggio S5 è sostanzialmente simile al precedente, dal quale dista circa 150 m. Si è scelto di datare il tetto del livello di torba posto fra 31,55 e 32,15 m (presente anche nel carotaggio S4, ma campionato in modo peggiore), posto alla base dei sedimenti pertinenti al LGM.

S7 – Quartiere Pertini (Mestre)

Il sondaggio S7 è caratterizzato da un banco sabbioso che va dalla 3,5 m (base del terreno di riporto, coincidente con il piano campagna nelle aree limitrofe) a 15,8 m, contenente sabbie medie e grossolane, e più in profondità da una successione di piana di esondazione a sedimenti fini con intervalli torbosi e un paleosuolo a 25,7 m. Il campione S7-16 proviene da un livello torboso poco più profondo della base erosiva delle sabbie. Nell'ipotesi ragionevole che l'erosione non abbia interessato spessori elevati di sedimenti, la datazione della torba fornisce un'indicazione sul periodo di impostazione dell'alveo fluviale in questo settore. Il campione S7-17 proviene dal tetto del paleosuolo posto alla base dei sedimenti pertinenti all'ultima massima espansione glaciale. Essendo rinvenuto in numerosi carotaggi, anche in altri settori della pianura, questo livello costituisce un importante riferimento stratigrafico.

7.10 L'area di Porto Marghera in relazione al modello geologico provinciale – GEOSINPAV

Il progetto GEOSINPAV è uno studio svolto dalla Provincia di Venezia in collaborazione con il Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova.

L'analisi dei dati presenti nella banca dati stratigrafica, riferiti all'area centrale della provincia di Venezia, ha permesso di individuare le geometrie dei corpi sabbiosi connessi alle principali ramificazioni di deflusso del Brenta pleistocenico, correlandole a quelle riscontrate nel sottosuolo di Mestre e Porto Marghera. I corpi sedimentari analizzati corrispondono a potenti strati di sabbia conseguenti alla sovrapposizione di più corpi alluvionali che hanno interessato nel tempo una medesima area.

Sono state presi in esame i recenti progetti per il Passante di Mestre, il Tunnel, la Romea Commerciale, l'Alta Velocità ferroviaria, la Metropolitana Regionale e l'ampliamento della terza corsia della A4. Le stratigrafie presentate da questi progetti sono sufficientemente dettagliate anche se la distribuzione dei sondaggi, ripartita secondo quegli specifici piani di lavoro, non ha permesso la ricostruzione precisa e continua dei corpi sabbiosi. Il risultato è uno schema generale (Figura 7.10.1) in cui si riportano le direttrici principali che si collegano ai principali corpi sabbiosi identificati nell'area di Mestre-Marghera, di cui si dirà in modo più approfondito nel paragrafo 8.3.

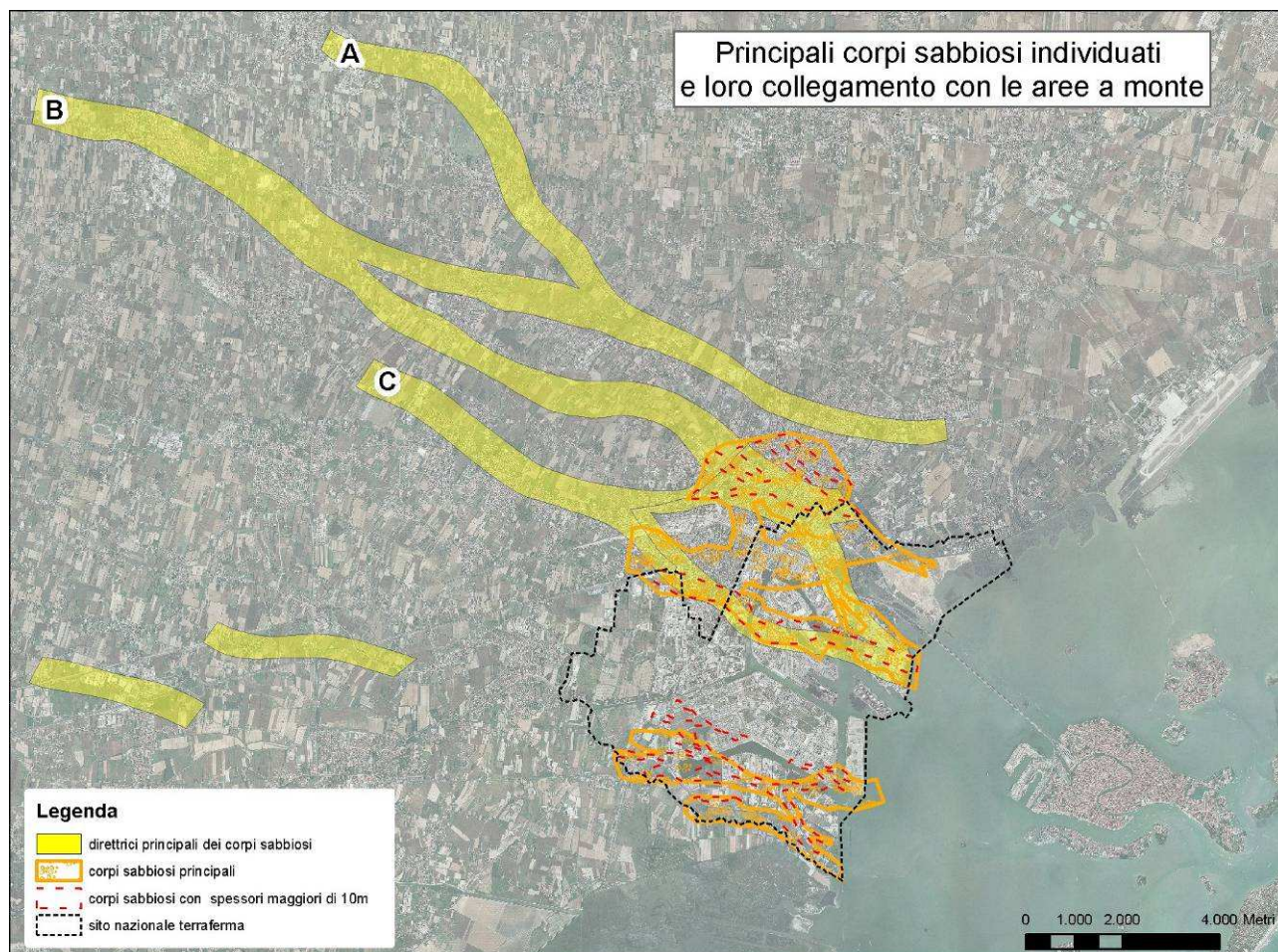


Figura - Principali corpi sabbiosi individuati e loro collegamenti con le aree a monte.

- Una direttrice (A) passa in corrispondenza di Scorzè, Martellago, Zelarino e segue in direzione est attraversando la porzione settentrionale di Mestre, verso Carpenedo e Favaro Veneto. Il tetto delle sabbie si trova a una profondità variabile fino a 4 m dal p.c. e i corpi sabbiosi raggiungono talora spessori di 14-15 m.
- Un'altra direttrice (B) passa per Noale e Maerne e si dirige verso il centro di Mestre in corrispondenza del fiume Marzenego. Questa direttrice è caratterizzata dalla presenza di potenti strati di sabbia il cui tetto si trova a una profondità variabile tra -2 e -4 m dal p.c., con letto fino a -18 m e spessori massimi delle sabbie di circa 16 m. La caratteristica che spesso accomuna la descrizione di queste sabbie e che ha permesso di associarle tra loro, è la presenza in tracce di ghiaia da media a fine (con diametro massimo da 2 a 4 cm) nella parte bassa della sequenza, riscontrabile da Noale fino al centro di Mestre.
- Una terza direttrice (C) è stata identificata a partire da Salzano; essa attraversa Spinea e Chirignago e sembra riconoscibile fino al centro di Mestre o di Marghera. Il tetto delle sabbie di questa terza direttrice sembra essere più superficiale (a volte le sabbie sono affioranti) e gli spessori dei corpi sabbiosi sono inferiori a quelli precedenti, raggiungendo normalmente profondità di 8-10 m dal p.c.

7.11 Sintesi del modello concettuale geologico

Nei due anni di attività della seconda fase dell'indagine idrogeologica di Porto Marghera, attraverso l'utilizzo di metodiche integrate di raccolta, informatizzazione ed elaborazione dei dati, si è arrivati a fornire il modello concettuale geologico. Tale modello si basa su un numero eccezionalmente elevato di dati, e in particolare su alcune migliaia di stratigrafie geologiche, completamente standardizzate ed informatizzate.

Durante la prima fase dell'indagine, conclusasi nel 2002, si era già messo in evidenza come la geologia dell'area si presentasse caratterizzata da complessità ed eterogeneità e che quindi non fosse schematizzabile in un modello semplice "a doppia falda".

Nell'ambito della seconda fase si è ricostruito questo quadro complesso ad elevata variabilità laterale, dove l'elemento dominante è dato da una serie di **corpi sabbiosi anastomizzati allungati in senso Ovest-Est, talora sovrapposti tra loro fino a formare spessori di sabbie anche di una ventina di m. Nelle parti dove i corpi sabbiosi sono assenti o tendono a chiudersi si ha una netta prevalenza di sedimenti fini (argille e limi).**

Altri elementi caratteristici del sistema geologico sono la presenza di un **livello diffusamente presente (ma non continuo sull'intera area) di argille e limi sovraconsolidati**, noto con il termine di "caranto", originatosi in coincidenza del limite Pleistocene-Olocene.

E' emersa inoltre la **presenza di torbe in livelli che appaiono dotati di continuità laterale.**

In sintesi il quadro geologico di riferimento del SIN può essere così schematizzato:

- Il SIN è interessato da **spessori anche consistenti di riporto**, utilizzato in passato per la bonifica per colmata dell'area per il lagunare; lo spessore varia da 0 m, soprattutto nelle zone agricole occidentali, fino a oltre 6 m, nell'area industriale. Il riporto ospita localmente un acquifero ritenuto non significativo alla scala di lavoro;
- l'elaborazione del **microrilievo** ha evidenziato che le quote del piano campagna variano da +0,45 a +4,0 m s.l.m. Nelle zone agricole e nelle zone a monte della ferrovia, dove è minore lo spessore del riporto le quote più diffuse variano da +1,00 a +2,00 m s.l.m; nella restante parte sono comprese tra +2,00 e +4,00 m s.l.m;
- il sistema geologico è complesso con **elevata variabilità litologica laterale e verticale**;
- si sono identificati **4 corpi sabbiosi allungati da Ovest verso Est, in parte idrogeologicamente connessi tra loro, caratterizzati da spessori continui fino a oltre 10-20 metri di sabbia, con collegamenti con strutture analoghe a monte**. Procedendo da sud verso nord si incontrano:
 1. **corpo sabbioso di Fusina** – situato proprio in corrispondenza del Naviglio Brenta, è un corpo piuttosto tabulare con spessori massimi compresi fra -2 e -13 m s.l.m. e larghezza incerta poiché il limite sud risulta non definito;
 2. **corpo sabbioso di Malcontenta** - posizionato nel sottosuolo della darsena sud dell'area industriale di Porto Marghera, è una successione di corpi sabbiosi sovrapposti di larghezza totale attorno a 800 m, con una parte profonda compresa circa fra -10 e almeno -30 m s.l.m., collegata ad una parte più superficiale e spostata di qualche centinaio di metri verso nord, di spessore analogo e tetto a circa -3 m s.l.m. Spostandosi verso est, esso tende a dividersi in due

distinti corpi sabbiosi separati da un livello di sedimenti fini analogamente a quanto riscontrato anche nella penisola della chimica;

3. **corpo sabbioso dell'area portuale** – situato in corrispondenza dell'area ferroviaria del porto commerciale, è un corpo sabbioso largo circa 400 m e di spessore compreso fra -3 e -18 m s.l.m.; sembra impostato sulla direttrice che da Salzano attraversa Spinea e Chirignago fino al centro di Marghera.

4. **corpo sabbioso di viale San Marco** – situato in corrispondenza dell'area sud-orientale di Mestre attraversata da Via Forte Marghera e Viale San Marco, questo corpo sabbioso tabulare di larghezza imprecisata ma sicuramente superiore a 1200 m e spessore attorno a 8/9 m, è sub-superficiale (con quote del tetto comprese fra +1 e 0 s.l.m.) e verso l'area dell'Osellino a nord presenta un approfondimento con le quote del letto attorno a 12 /13 m s.l.m.. E' impostato sulla direttrice che da Noale e Maerne si dirige verso il centro di Mestre in corrispondenza del fiume Marzenego, caratterizzata dalla presenza di potenti strati di sabbia il cui tetto si trova a una profondità variabile tra -2 e -4 m dal p.c., con letto fino a -18 m e spessori massimi delle sabbie di circa 16 m. La caratteristica che spesso accomuna la descrizione di queste sabbie e che ha permesso di associarle tra loro, è la presenza in tracce di ghiaia da media a fine (con diametro massimo da 2 a 4 cm) nella parte bassa della sequenza, riscontrabile da Noale fino al centro di Mestre.

Per le interconnessioni tra loro, i corpi sabbiosi riconosciuti potrebbero essere ricondotti a due principali, uno più a sud (1- corpo sabbioso di Fusina e 2 - corpo sabbioso di Malcontenta), l'altro più a nord (3 - corpo sabbioso dell'area portuale e 4 - corpo sabbioso di viale San Marco).

- il **tetto degli acquiferi significativi** (ovvero quelli contenuti nei suddetti corpi sabbiosi) si trova a profondità comprese tra -10,8 e +1,8 m s.l.m. Considerato che le quote del piano campagna variano da +0,5 e +4,0 m s.l.m il tetto del primo acquifero significativo si trova tra 2 e 15 m circa dal piano campagna: risulta praticamente affiorante nel settore nord-occidentale e nell'estremo orientale, mentre nel settore centrale (area Syndial verso la sponda del Canale Industriale Ovest) risulta ad una profondità piuttosto elevata, ossia sembra non esserci nessun corpo acquifero significativo fino alla profondità di una quindicina di metri;
- si hanno **aree a pressoché totale sedimentazione fine, almeno fino a 10 – 15 m di profondità**, principalmente nella parte mediana del SIN, tra il corpo sabbioso di Malcontenta e quello dell'area portuale;
- **presenza diffusa ma non ubiquitaria del caranto**, che sembra non essersi formato principalmente nelle zone dove i corpi sabbiosi sono sub affioranti e più continui in profondità come nella parte interessata dal corpo sabbioso di Via San Marco (ad es. via Forte Marghera);
- **presenza di livelli torbosi continui in vari settori del SIN** la cui datazione, eseguita per ora solo su due campioni, potrebbe fornire utili indicazioni per le correlazioni degli strati sabbiosi e quindi per migliorare ulteriormente il quadro geologico di riferimento;
- il **grado di protezione degli acquiferi più superficiali è variabile soprattutto in funzione delle isobate del primo acquifero**: la permeabilità verticale equivalente della copertura degli acquiferi significativi più superficiali risulta piuttosto bassa un po' dappertutto, ad eccezione dell'estremo nord dove le sabbie sono affioranti o quasi; l'area nella quale gli acquiferi risultano essere

maggiormente protetti, evidenziata con l'elaborazione e l'interpolazione di un indice appositamente messo a punto ("indice di copertura"), è quella centrale mentre risulta meno protetta l'area nord-occidentale e l'estremo orientale, dove il tetto degli acquiferi più superficiali hanno una profondità minore.

8. QUADRO IDROGEOLOGICO

8.1 Metodologia

Obiettivo generale di questa parte del lavoro è stato la definizione della struttura idrogeologica tridimensionale del sottosuolo e della sua parametrizzazione nell'area del SIN e in quella di potenziale interazione.

A tal fine, sulla base di quanto definito nel piano di lavoro, redatto nel 2002, per il completamento della indagine idrogeologica, si è seguito il seguente percorso logico:

- aggiornamento della banca dati idrogeologica
- ricostruzione della geometria degli acquiferi
- parametrizzazione degli acquiferi (conducibilità idraulica - k , spessore – H , trasmissività - T)
- definizione dei fattori influenzanti i flussi idrici e le piezometrie (canali lagunari e in terraferma, idrovore, emungimenti e diaframmi per la messa in sicurezza)
- definizione del regime piezometrico
- distribuzione delle piezometrie e dei gradienti
- distribuzione di altri parametri (cuneo salino)
- valutazione dei flussi idrici sotterranei
- quadro idrogeologico complessivo inserimento/confronto nel quadro geologico emerso dallo studio in corso (capitolo 7) e nel contesto idrogeologico a scala provinciale sulla base degli studi pregressi del Servizio Geologico

Va premesso che oggetto della indagine idrogeologica sono gli acquiferi, in senso idrogeologico, presenti nel sottosuolo di Porto Marghera. In questa logica non si sono considerate come “falda”, le acque di impregnazione nei materiali di riporto (c.d. “falda nel riporto”) in quanto, oltre che discontinue, non significative da un punto di vista idrogeologico alla scala d’indagine.

8.2 Implementazione banca dati idrogeologica

La banca dati idrogeologica, come già accennato nel capitolo 6, raccoglie informazioni sullo stato quantitativo e in parte qualitativo delle falde acquifere nel territorio della provincia di Venezia e, in parte, della provincia di Treviso.

Per la seconda fase dell'indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera è stata implementata maggiormente la parte riguardante i piezometri ricadenti all'interno del perimetro del Sito di Interesse Nazionale.

I dati inseriti provengono in larga misura dall'analisi dei piani di caratterizzazione presentati dalle aziende insediate nel SIN, da parte della banca dati del Magistrato alle Acque di Venezia, più una cospicua quantità di informazioni proveniente dalla prima fase d'indagine.

Oltre alle informazioni anagrafiche, raccolte nella tabella "piezometri", è stata creata una relazione, "parametri_piezometri" per registrare tutti quei parametri idrogeologici (permeabilità, trasmissività...) ricavati da prove *in situ* o in laboratorio, utili alla caratterizzazione quantitativa della falda.

Sono inoltre state introdotte in banca dati tutte le prove in campo svolte e tutti i dati raccolti dal monitoraggio in continuo di 92 piezometri all'interno del SIN dal gruppo di lavoro del Servizio Geologico della Provincia di Venezia mediante l'utilizzo di 23 sonde di cui 16 mono-parametro (trasduttori di pressione) e 7 multiparametriche (a 6 parametri: pressione, temperatura, conducibilità, pH, potenziale REDOX, ossigeno disciolto e, per due strumenti, anche torbidità).

Le seguenti tabelle riportano alcuni dati di sintesi dei dati inseriti. Per le cartografie con la distribuzione dei punti relativi sia ai piezometri che ai parametri idrogeologici, si rimanda ai successivi paragrafi.

Progetto	Cont
non specificato	18
ACM	4
CARG	3
CONSORZIO BONIFICA BACCHIGLIONE-BRENTA	31
CORILA	44
ISES	25
Passante di Mestre	72
Studio idrogeologico Porto Marghera I fase	482
Studio idrogeologico Porto Marghera II fase	1794
TESI	15

Figura 8.2.1 - Tabella riassuntiva dei piezometri inseriti nella banca dati idrogeologica del Servizio Geologico della Provincia di Venezia

Mese di riferimento	Cont pz inseriti
Ottobre 2006 – Marzo 2007	935
Aprile – Giugno 2007	35
Luglio – Settembre 2007	1
Ottobre – Dicembre 2007	180
Gennaio – Marzo 2008	76
Aprile – Giugno 2008	7
Luglio – Settembre 2008	13

Figura 8.2.2 - Tabella riassuntiva dell'attività di implementazione della banca dati idrogeologica

547 senza data

8.3 Ricostruzione della geometria degli acquiferi

8.3.1 Sequenze idro-stratigrafiche tipo

Per sequenza idrostratigrafica tipo si intende una successione stratigrafica semplificata rappresentativa di una certa area, dove risultano evidenti le posizioni e gli spessori prevalenti degli acquiferi e degli acquicludi nella verticale.

Il punto di partenza per la creazione delle sequenze idro-stratigrafiche tipo è stata la banca dati stratigrafica dove, per quanto riguarda l'area del SIN Porto Marghera e immediate adiacenze, sono attualmente georeferenziate e catalogate circa 4000 stratigrafie.

Sono state scelte le stratigrafie derivate da carotaggi continui con profondità di almeno 20 m per le stratigrafie principali; profondità maggiori di 13 m per le stratigrafie a contorno, sono state organizzate in sezioni stratigrafiche ed interpretati i relativi profili geologici (come illustrato nel paragrafo 7.7) e sono state apportate le necessarie semplificazioni ai fini della definizione in pianta delle unità idro-stratigrafiche tipo.

Per aree con una scarsa densità di dati, sono state scelte anche stratigrafie derivate da prove penetrometriche. Non sono state considerate, invece, quelle che derivano da carotaggi a distruzione di nucleo.

La procedura utilizzata per la realizzazione della carta delle sequenze idro-stratigrafiche ha seguito fasi successive e conseguenti di lavoro, con riprese in relazione all'acquisizione di nuovi dati ed informazioni.

Le elaborazioni che hanno portato alla zonazione in sequenze idro-stratigrafiche vengono dettagliatamente illustrate di seguito.

Elaborazione 1

Definizione di sequenze idro-stratigrafiche tipo attraverso la classificazione di ogni singola stratigrafia/punto georeferenziato in rapporto anche all'interpretazione del profilo stratigrafico in cui ricade o in quello più vicino che ne riassume la successione stratigrafica.

I parametri della classificazione sono la presenza/assenza, lo spessore e la posizione nella colonna stratigrafica di strati a granulometria grossolana (GG) cioè di litotipi permeabili (da sabbia fino a sabbia con limo). Questi litotipi possono essere associati o inglobare strati di sabbia e limo oppure, all'estremo, di limo sabbioso. Gli strati a GG possono essere intervallati o meno da strati a granulometria fine (GF) cioè litotipi impermeabili (da limo ad argilla). In definitiva, le sequenze di queste litofacies sono semplificate in favore della definizione dei caratteri di permeabilità. Si sono definite le seguenti classi, ciascuna delle quali è stata visualizzata con un colore:

Classi:








- colore arancio scuro - strati a GG con spessore > 10 m entro - 20 m s.l.m. e tetto sub-superficiale;
- colore arancio chiaro - strati a GG con spessore > 6 m e <10 m solamente nella parte più superficiale della colonna;
- colore giallo - strati a GG con spessore > 2 m e < 6 m nella parte più superficiale della colonna;

- colore verde - doppia serie di strati a GG di almeno 2 m di spessore ciascuna, nei primi 20 m di profondità dal livello medio mare, separate da uno strato continuo a GF di almeno 1 m di spessore;
- colore viola scuro - strati a GG con spessore > 6 m nella parte più profonda della colonna, comunque minore di - 10 m s.l.m.;
- colore viola chiaro - strati a GG con spessore > 2 m e < 6 m, nella parte più profonda della colonna, comunque minore di - 10 m s.l.m.;
- colore marrone – assenza di strati a GG di spessore significativo (spessore < 2 m).

La legenda è illustrata dalla Figura 8.3.1.1 e sulla tavola fuori testo.

Legenda

sequenze idrostratigrafiche puntuali (distribuzione verticale degli strati sabbiosi)

-  unico strato (spessore >10 m) entro -20 m s.l.m.
-  sub-superficiale spesso (spessore >6 e <10 m) entro -10 m s.l.m.
-  sub-superficiale (spessore >2 e <6 m) entro -10 m s.l.m.
-  due strati sabbiosi separati da almeno 1 m di sedimento limo-argilloso
-  profondo spesso (spessore > 6 m) inferiore a -10 m s.l.m.
-  profondo (spessore >2 e <6 m) inferiore a -10 m s.l.m.
-  nessun strato con spessori > 2 m entro -20 m s.l.m.

zonazione idrostratigrafica (distribuzione areale delle sequenze)

-  unico
-  sub-superficiale spesso
-  sub-superficiale
-  due separati
-  profondo spesso
-  profondo
-  nessuno

zonazione idrostratigrafica interpretata

-  unico
-  sub-superficiale spesso
-  sub-superficiale
-  due separati
-  profondo spesso
-  profondo
-  nessuno

Figura 8.3.1.1 - Legenda della carta delle sequenze idrostratigrafiche

Elaborazione 2

Creazione di aree nell'intorno del punto o di punti adiacenti con la medesima classificazione data dalle sequenze idro-stratigrafiche (Figura 8.3.1.2) colorate come da legenda sopra illustrata.

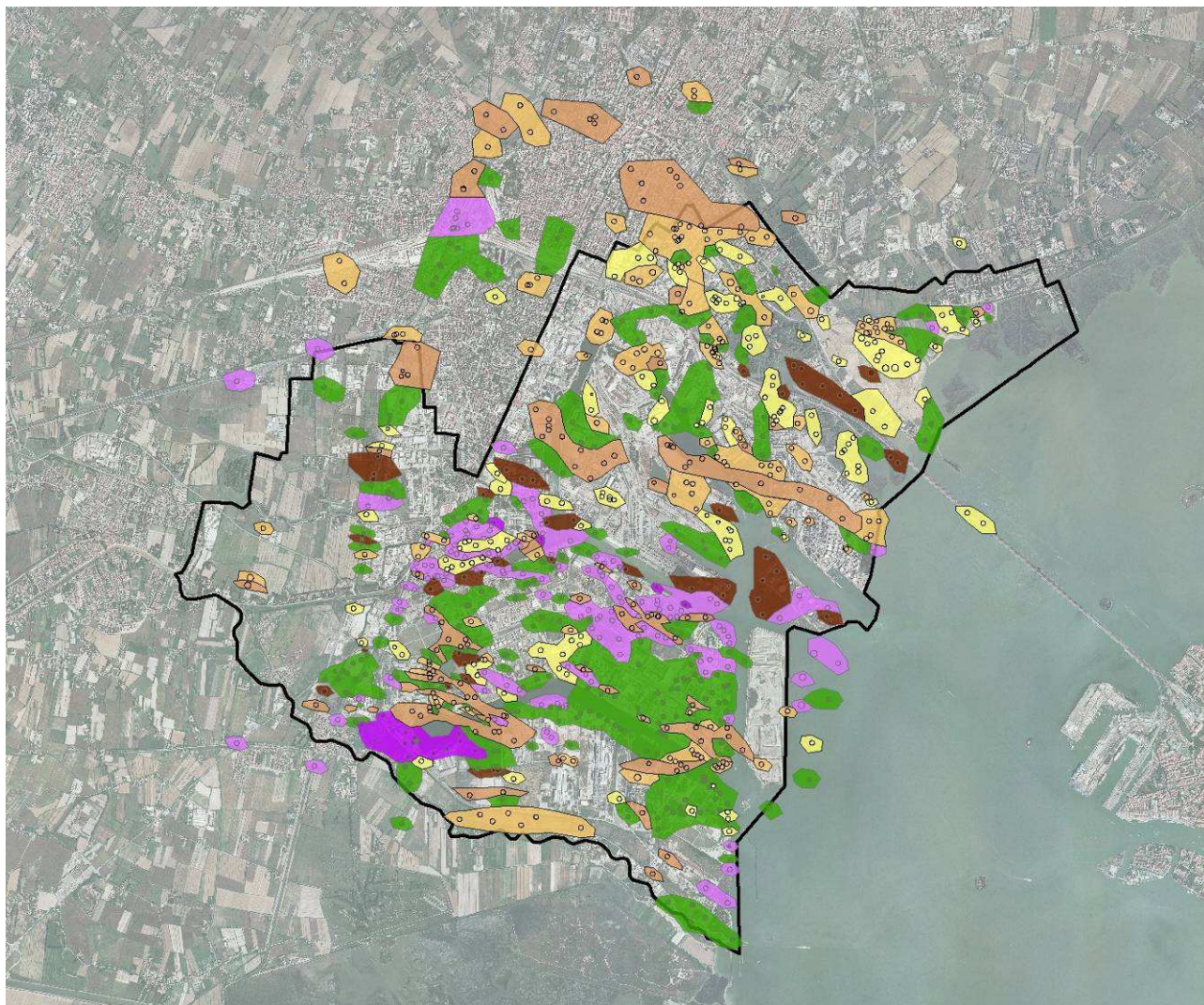


Figura 8.3.1.2 - Carta delle sequenze idrostratigrafiche. Viene indicata con una legenda a sette colori la classificazione di ciascuna stratigrafia e la classificazione areale per le parti ad alta densità di dati (legenda nella pagina precedente).

Elaborazione 3 – Carta delle sequenze idro-stratigrafiche

Suddivisione dell'intera zona di studio (Figura 8.3.1.3 e tavola fuori testo), mediante classificazione delle rimanenti aree in funzione di un'interpretazione geologica-sedimentologica basata sulla ricostruzione geologica del SIN (capitolo 7), con particolare riferimento all'utilizzo dei 20 profili stratigrafici.

La colorazione, per le aree "interpretate" mantiene la classificazione precedente (Figura 8.3.1.2) ma differenziata per quanto riguarda l'intensità del colore.

La carta finale delle zonazioni idro-stratigrafiche è quindi una carta a 7 classi (colore arancio scuro, arancio chiaro, giallo, azzurro, verde, viola scuro, viola chiaro, marrone) che rappresentano le aree classificate direttamente in quanto sede di stratigrafie profonde e, quindi, con un buon grado di attendibilità, e dei medesimi 7 colori, sfumati, che rappresentano le aree interpretate con un grado di attendibilità relativo minore.

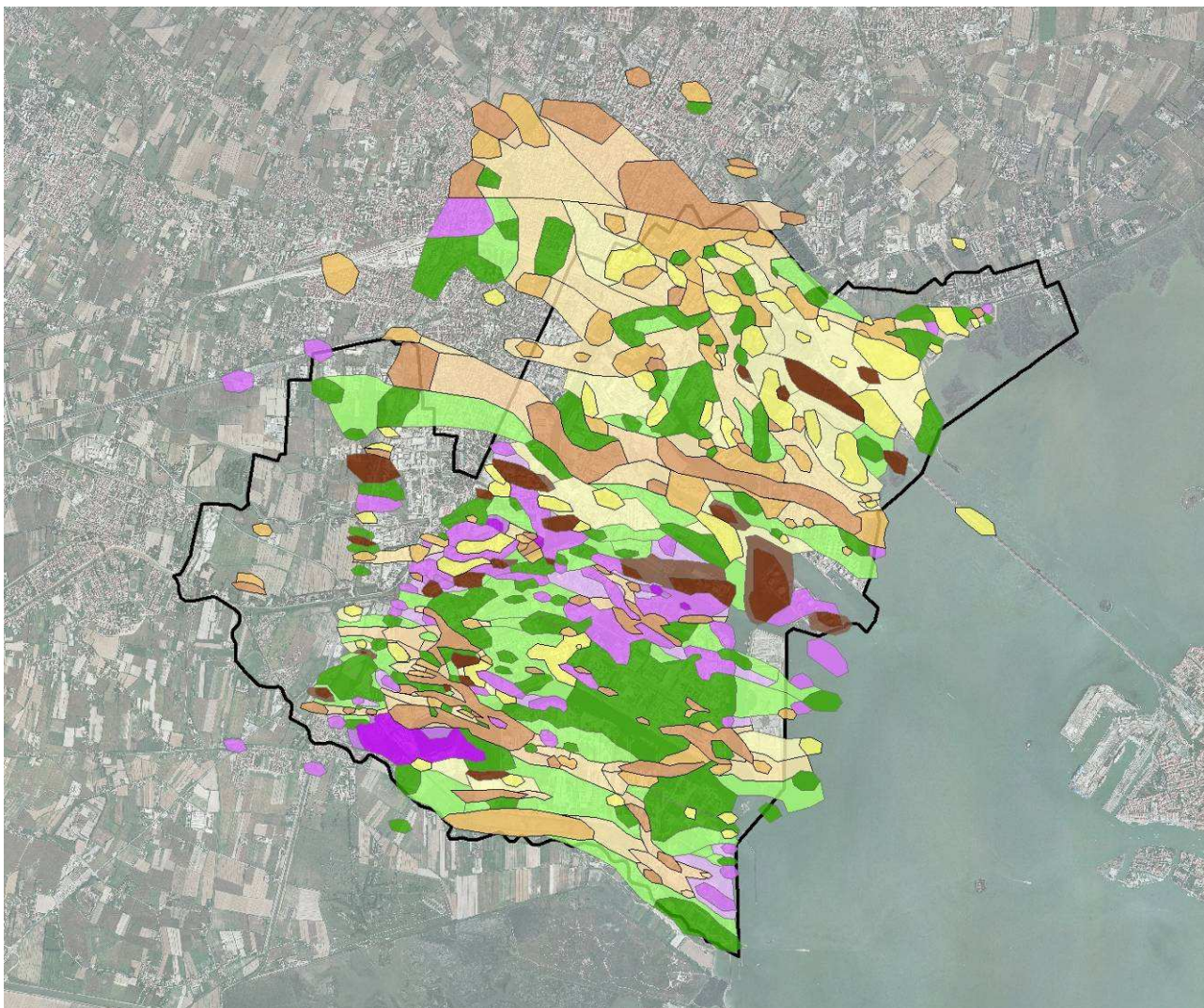


FIGURA 8.3.1.3 - Carta delle sequenze idrostratigrafiche. Viene indicata con una legenda a sette colori (riportata a pagina 121) la classificazione delle aree ad alta densità di dati e le aree a bassa densità di dati interpretate su base geologica-sedimentologica.

Elaborazione 4

Un'ulteriore elaborazione sulle stratigrafie è la mappatura della presenza di strati sabbiosi maggiori di 2 m di spessore, a profondità maggiori delle precedenti, fra -20 e -30 m s.l.m. (Figura 8.3.1.4)

In quest'ultima carta, creata a partire dalle stratigrafie che si spingono a profondità maggiori di 25 m, che sono in numero ridotto rispetto a quelle utilizzate per le precedenti elaborazioni, sono rappresentati i punti dove è segnalata (punto nero) la presenza di almeno uno strato continuo di sabbia di spessore maggiore di 2 m a profondità comprese fra -20 e -30 m s.l.m. Nel punto bianco viceversa non sono segnalati strati di sabbia di spessore significativo.

La carta ha una densità di dati minore delle altre e una lettura più semplice (non tiene in considerazione gli spessori coinvolti) se non associata alla carta delle zonazioni idro-stratigrafiche.

Essa comunque mette in evidenza due direttrici principali dei corpi sabbiosi: una meridionale di direzione W-E affiancata al Canale Industriale Sud e una settentrionale di direzione NE-SW che attraversa la parte settentrionale di Marghera e la Prima Zona Industriale affiancata al Canale Industriale Nord. Le direzioni assunte da questi corpi sabbiosi, nel complesso, completano in profondità le informazioni già evidenziate nelle carte precedenti.

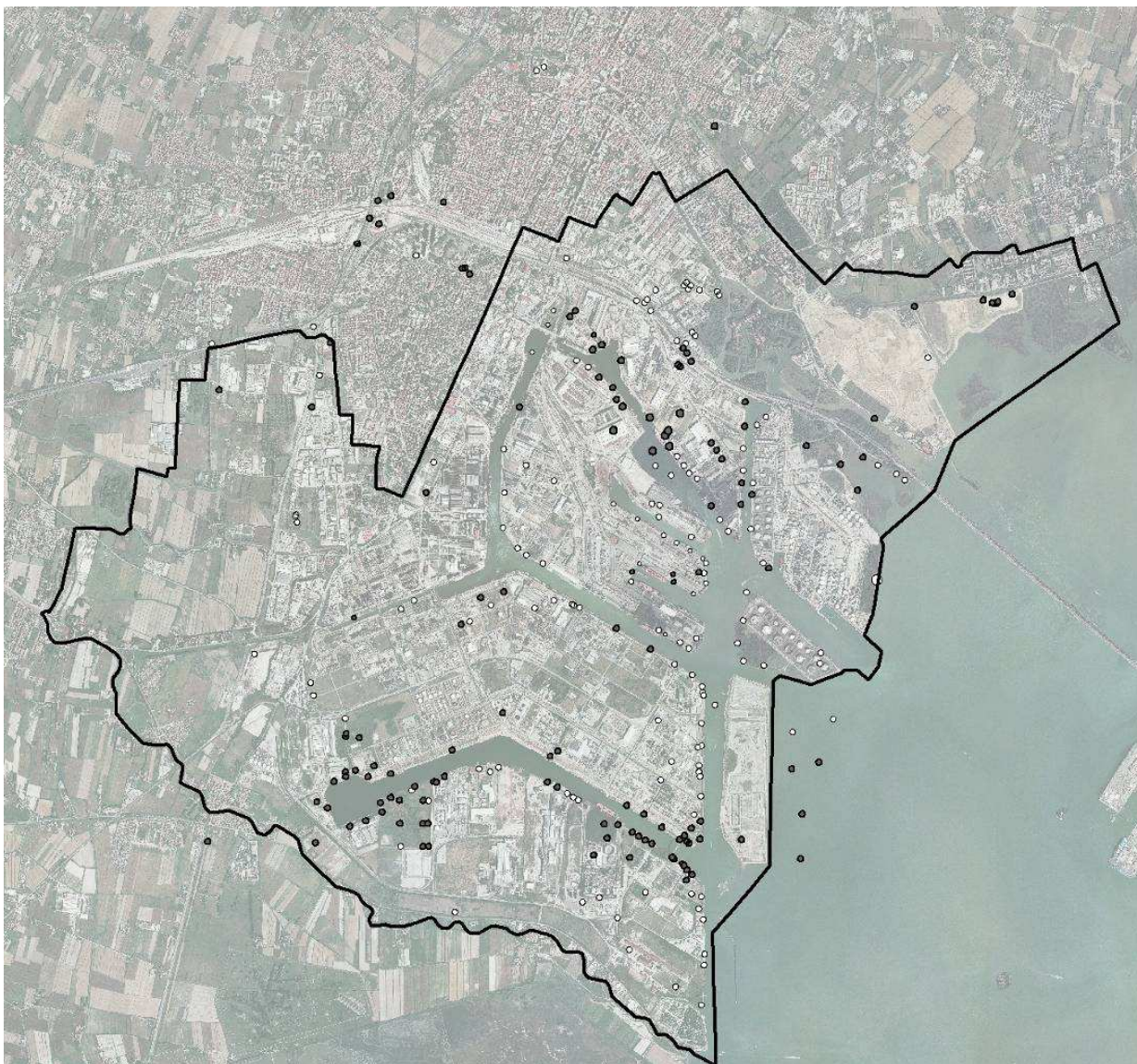


Figura 8.3.1.4 - Mappatura della presenza di strati sabbiosi maggiori di 2 m di spessore, a quote comprese fra -20 e -30 m s.l.m.

Punto nero: presenza di almeno uno strato continuo di sabbia di spessore maggiore di 2 m a profondità comprese fra -20 e -30 m s.l.m.

Punto bianco: assenza di strati di sabbia di spessore significativo

8.3.2 I nuovi carotaggi nella carta delle zonazioni idro-stratigrafiche

I sondaggi eseguiti, le cui stratigrafie sono riportate nell'allegato A "I Nuovi Sondaggi Geologici", sono stati analizzati seguendo le modalità di codifica specificate nel paragrafo 8.3, in base alla presenza e profondità di strati sabbiosi significativi. La codifica si propone di classificare ogni singola stratigrafia secondo sequenze idro-stratigrafiche standard.

I risultati della codifica sono i seguenti:

S1 – VESTA, colore giallo - strati a Granulometria Grossolana (GG) con spessore > 2 m e < 6 m nella parte più superficiale della colonna;

S2 – MALCONTENTA, colore verde - doppia serie di strati a GG di almeno 2 m di spessore ciascuna, nei primi 20 m di profondità dal livello medio mare, separate da uno strato continuo a Granulometria Fine (GF) di almeno 1 m di spessore;

S3 – ROMEA, colore viola chiaro - strati a GG con spessore > 2 m e < 6 m, nella parte più profonda della colonna, comunque minore di - 10 m s.l.m.;

S4 – EX BOSCHETTO SIRMA SUD, colore viola scuro - strati a GG con spessore > 6 m nella parte più profonda della colonna, comunque minore di - 10 m s.l.m.;

S5 – EX BOSCHETTO SIRMA NORD, colore verde - doppia serie di strati a GG di almeno 2 m di spessore ciascuna, nei primi 20 m di profondità dal livello medio mare, separate da uno strato continuo a GF di almeno 1 m di spessore;

S6 – CHIESA MARGHERA, colore giallo - strati a GG con spessore > 2 m e < 6 m nella parte più superficiale della colonna;

S7 – Q.PERTINI, colore arancio scuro - strati a GG con spessore > 10 m entro -20 m s.l.m. e tetto sub-superficiale;

S8 – CAMPALTO, colore giallo - strati a GG con spessore > 2 m e < 6 m nella parte più superficiale della colonna.

Il sondaggio S1 – VESTA registra un solo banco sabbioso significativo con spessore 4,5 m e tetto a quota - 5,0 m s.l.m. che segnala, unitamente ad alcuni altri sondaggi posizionati circa 300-400 m più a est e in difformità di sondaggi adiacenti, interruzioni della sedimentazione sabbiosa o comunque più grossolana a quote inferiori a -10,0 m s.l.m. Ciò sembra indicare che la presenza del doppio acquifero, prevalente a Fusina e nella Penisola della Chimica, cominci ad essere discontinua verso la parte sud della macroarea di Fusina.

Il sondaggio S2 – MALCONTENTA conferma la presenza, nell'area corrispondente al Naviglio Brenta, di una significativa deposizione di sedimenti sabbiosi di circa 10/12 m di spessore complessivo in posizione sub-superficiale. In questo caso, lo spessore complessivo del banco sabbioso è di circa 13 m, pur con un'interruzione di sedimenti limoso argillosi di circa 1,5 m, e il tetto è situato a -2,0 m s.l.m.

Il sondaggio S3 – ROMEA, ubicato fuori dall'area SIN, non è di immediata correlazione con altri sondaggi vicini – almeno alla scala molto dettagliata dello Studio Idrogeologico - a causa della scarsità di dati geologici in quell'area. Comunque la sequenza registra l'assenza di significative deposizioni di sedimenti grossolani, tranne lo strato sabbioso fine di spessore 2,5 m a quota circa -12,0 m s.l.m. già indicata in un sondaggio posto a circa 800 m a est.

Il sondaggio S4 – EX BOSCHETTO SIRMA SUD conferma la presenza di un potente e continuo banco sabbioso, in questo caso di almeno 17 m di spessore e con il tetto a circa -9,0 m s.l.m., che era già stato indicato in una vasta area posta a est del nuovo sondaggio.

Il sondaggio S5 – EX BOSCHETTO SIRMA NORD è molto simile a S4 dal quale differisce solamente per l'entità leggermente ridotta (14 m) dello spessore dello strato sabbioso e la presenza di due strati di sedimenti fini (circa 80 cm di spessore) di limo argilloso sabbioso attorno a -12,5 m s.l.m.

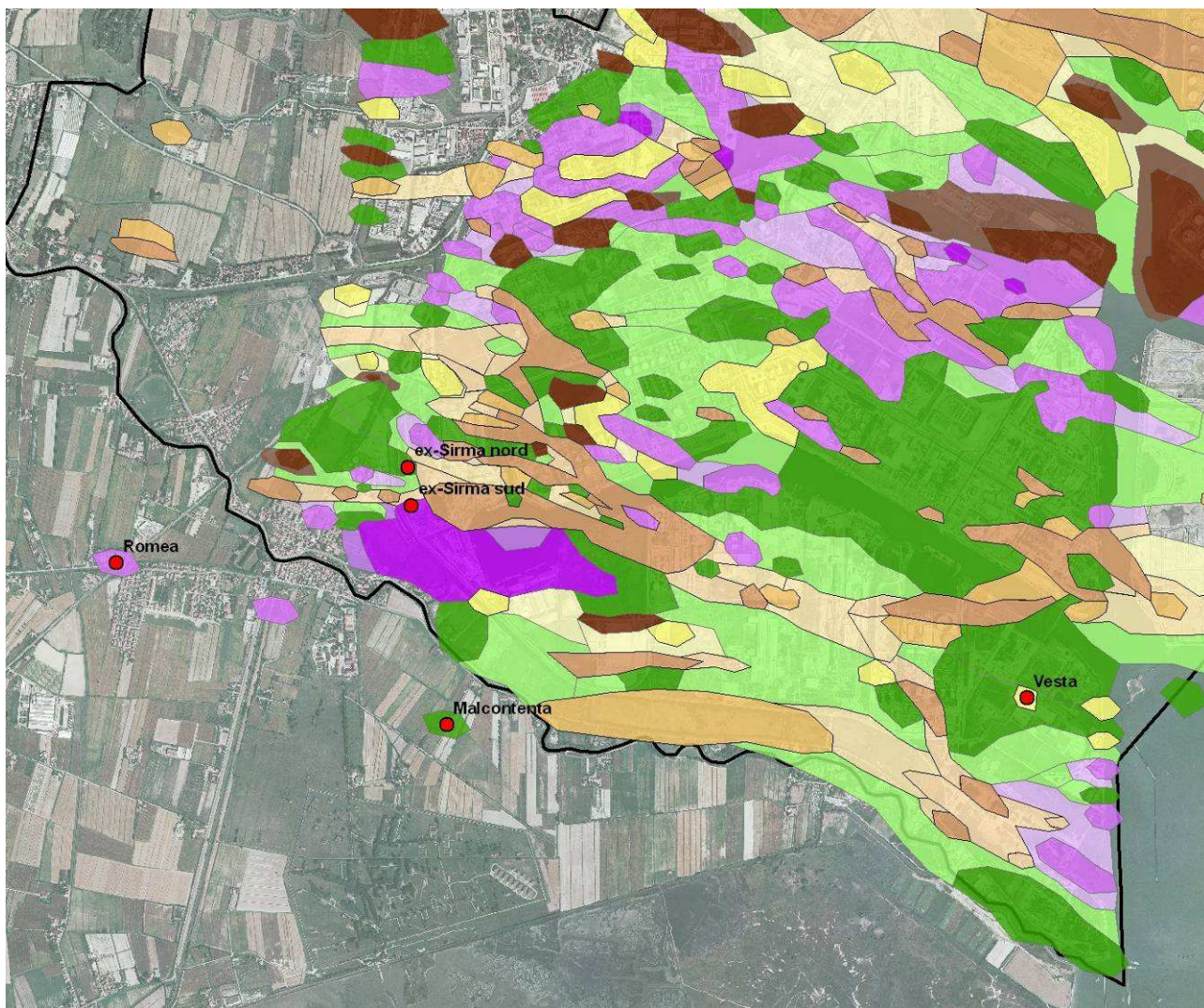


Figura 8.3.2.1 – Inserimento dei nuovi sondaggi geologici nella carta delle sequenze idrostratigrafiche (parte Sud).

Nel sondaggio S6 – CHIESA MARGHERA, ubicato nei pressi della chiesa S. Antonio a Marghera, in un'area carente di dati geologici, si è riscontrato un solo strato sabbioso significativo, di spessore circa 2,5 m e tetto a quota -3,35 m s.l.m. Il resto della colonna stratigrafica indica un'alternanza fitta di limi sabbiosi/sabbie fini e limi argillosi, almeno fino a -21,0 m s.l.m. La caratterizzazione ottenuta nelle aree adiacenti a sequenza stratigrafica nota, prevedeva invece una maggior presenza di sedimenti sabbiosi, almeno fino a -10 m s.l.m. La considerazione conseguente è che attorno a S6 ci sia stata prevalentemente un'area di interfluvio, non lontana da canali alluvionali più attivi.

Il sondaggio S7 – Q.PERTINI conferma la presenza nell'estrema area settentrionale del SIN di un corpo sabbioso superficiale, potente più di 10 m, in questo caso 12,5 m a contatto con il terreno di riporto.

Il sondaggio S8 – CAMPALTO, situato a circa 300 m a nord-est del perimetro SIN in un'area con assenza di dati geologici, indica la deposizione di uno strato continuo di sabbia con spessore 4,5 m e tetto a quota -5,5 m s.l.m.

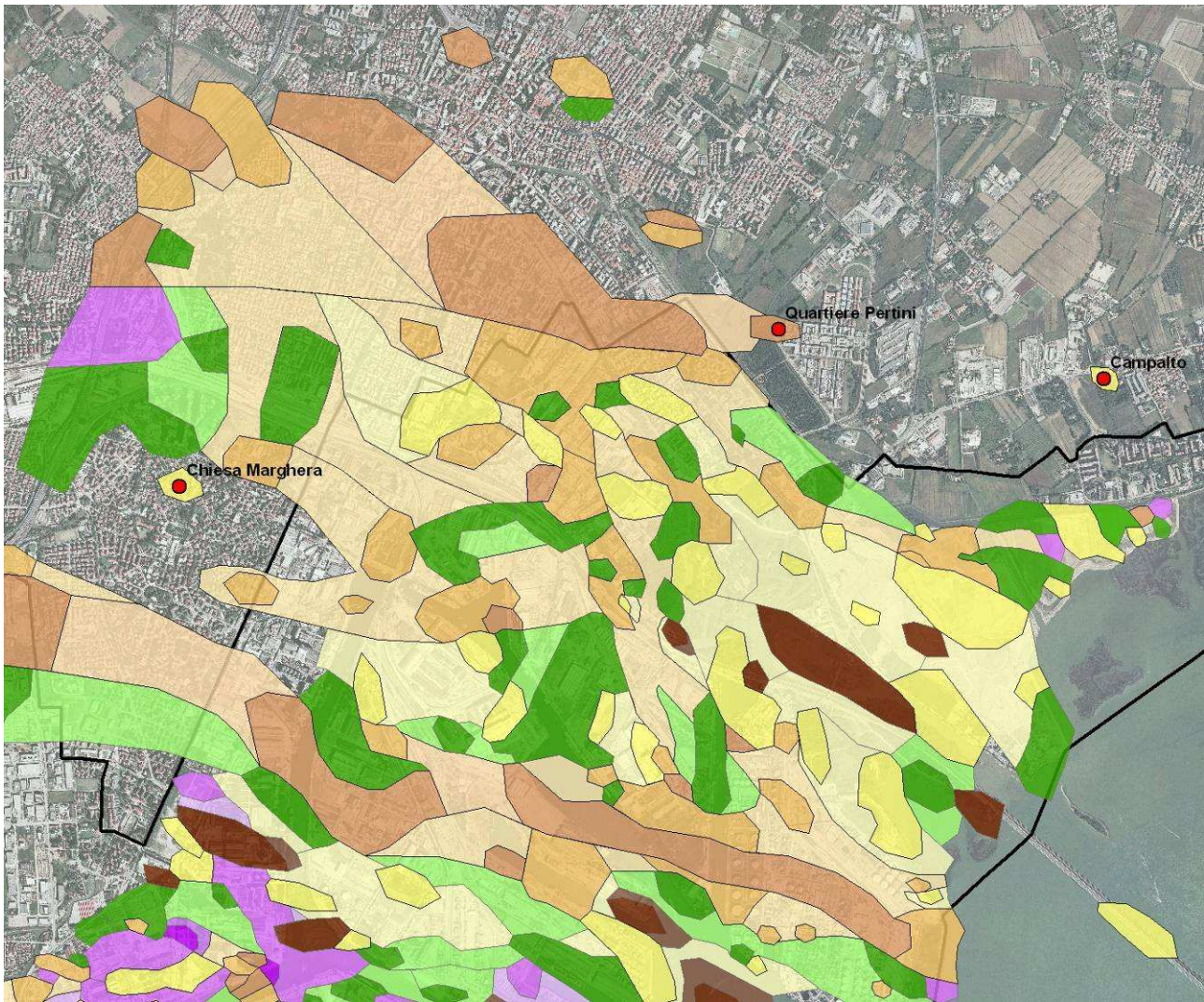


Figura 8.3.2.2 - Inserimento dei nuovi sondaggi geologici nella carta delle sequenze idrostratigrafiche (parte Nord).

8.3.3 Principali corpi acquiferi e loro collegamenti

Sulla base della carta delle sequenze idro-stratigrafiche tipo e del quadro geologico ricostruito al capitolo 7 si distinguono i principali corpi acquiferi ed i loro collegamenti.

I corpi sabbiosi principali sono 4, come già esposto nel paragrafo 7.7, collegati a 2 a 2 da varie connessioni, sub-superficiali e profonde. Le aree classificate in arancione nel paragrafo precedente, sono state accorpate per delimitare la presenza di corpi principali a granulometria più grossolana e di altre aree a definizione omogenea (retino arancione in Figura 8.3.3.1). Inoltre sono state perimetrare le aree con i maggiori spessori di sabbie, che costituiscono gli assi principali dei corpi acquiferi, (tratteggio rosso in Figura 8.3.3.1), le aree con sistema a doppia falda (retino giallo in Figura 8.3.3.1) e le aree dove la sedimentazione più grossolana è pressoché assente (colore marrone in Figura 8.3.3.1).

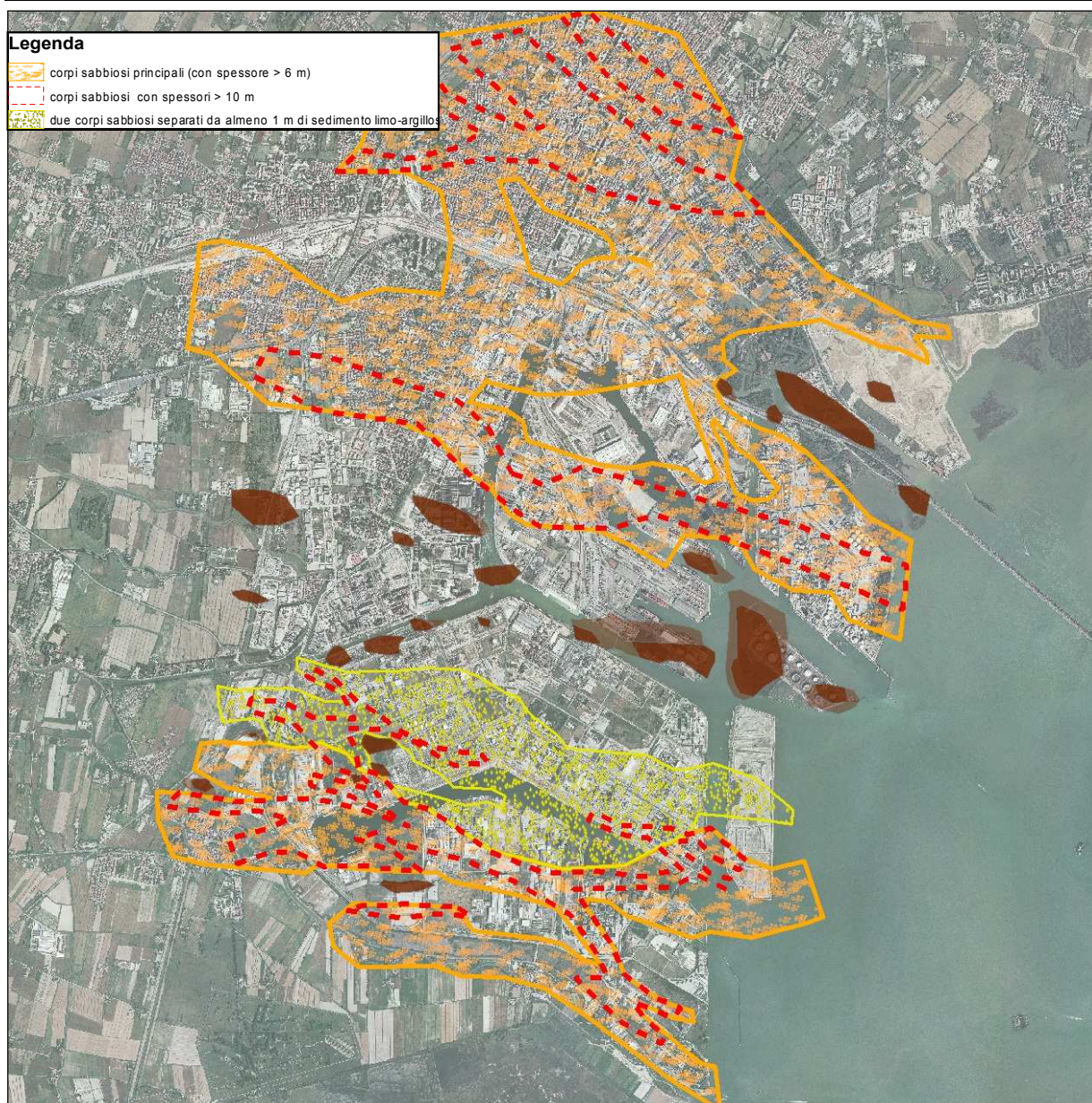


Figura 8.3.3.1 - Principali corpi acquiferi e loro collegamenti e principali acquiclude.

Analizzando la cartografia di **Figura 8.3.3.1**, procedendo da Sud verso Nord, risulta confermato quanto già riportato nel paragrafo 7.7 e, in effetti, l'elaborazione dei profili stratigrafici è stata propedeutica alla zonazione delle sequenze idro-stratigrafiche tipo.

- Il primo corpo sabbioso rappresentato nella carta si identifica con quello di **Fusina** è un corpo ad andamento tabulare di una decina di metri di spessore, con le granulometrie prevalenti medio fini.
- Il secondo corpo sabbioso si identifica con quello di **Malcontenta** ed è una struttura larga circa 1000 m con il tetto della successione a quote variabili: da -10 m s.l.m. nella parte a sud a sub-superficiale a nord; profondità massime sicuramente inferiori a -30 m s.l.m. e spessori compresi fra 11 e 20 m. A separare il corpo sabbioso di Malcontenta, soprattutto nel tratto meridionale e orientale, possono essere presenti strati limoso argillosi di spessore fino a 1 m. Questo sistema ha continuità laterale a sud con vari corpi interdigitati a granulometria sabbiosa che si uniscono al corpo sabbioso più meridionale.

- Le due strutture meridionali risultano collegate fra loro, con la parte più meridionale (quella situata in corrispondenza del Naviglio Brenta – corpo sabbioso di Fusina) che potrebbe rappresentare una porzione distale, e superficiale, del sistema incentrato sul corpo sabbioso complesso situato in corrispondenza al Canale Industriale Sud.
- A questa struttura sembra essere collegata anche tutta l'ampia porzione costituita da due strati sabbiosi separati da sedimenti limo-argillosi con spessore di almeno 1 m - in letteratura cosiddetta “a due falde” – che si trova nella parte meridionale della Penisola della Chimica. Lo spessore massimo (nella “falda” inferiore) è pari a 6 m a partire dai 15 m di profondità.
- Una discontinuità netta di sedimentazione grossolana significativa si trova nella zona centrale del SIN in corrispondenza all'isola dei Petroli e alla parte nord del Canale Industriale Ovest.
- Il terzo corpo sabbioso si identifica con quello dell'**area portuale** ed è largo circa 300 m. I corpi sabbiosi a granulometria prevalente fine si presentano più compatti, con poche intercalazioni di materiali fini, con spessore medio di circa 11 m, tetto a quota compresa fra -2 e -3 m e letto a circa -15 m s.l.m. E' pressoché assente la continuità laterale a sud con una troncatura netta della sedimentazione più grossolana, mentre a nord sono presenti corpi sabbiosi interdigitati il più spesso dei quali (circa 4-6 m) è situato in prossimità della superficie. Questi ultimi corpi interdigitati (larghezza circa 1200 m con spessore costante attorno a 7 m, tetto a 0 m e letto a -7 m s.l.m.) pur con qualche discontinuità, si ispessiscono verso nord e si collegano ad un quarto corpo sabbioso.
- Un quarto corpo sabbioso, in collegamento a quello appena descritto si identifica nell'area più a Nord del SIN. Corrisponde al corpo di **viale San Marco**, già noto da precedenti studi del Servizio Geologico. Lo spessore medio di quest'ultima parte è di 15 m, tetto a +1/0 m e letto a -15 m s.l.m. Le granulometrie prevalenti delle sabbie sono fini e medio fini ma vi sono livelli anche grossolani con la presenza in tracce di ghiaia da media a fine (con diametro massimo da 2 a 4 cm) nella parte bassa della sequenza, riscontrata, come già detto nel capitolo 7, anche nel corpo sabbioso collegato a monte, da Noale fino al centro di Mestre.

8.3.4 Quadro idrogeologico semplificato

La presente sezione ha l'intento di sintetizzare il quadro idrogeologico di Porto Marghera, mettendo in risalto i caratteri identificativi dei diversi sistemi acquiferi che si attestano nel territorio del SIN per dare una chiave di lettura semplificata dell'estrema complessità del sottosuolo veneziano.

L'elevato grado di variabilità geologica dei primi metri di sottosuolo dell'area ha determinato un assetto idrogeologico molto complesso, disomogeneo ed anisotropo. A ciò va aggiunto l'interazione tra le acque sotterranee e superficiali dei canali di terraferma e lagunari e della laguna stessa ed un sistema idraulico artificiale spesso influenzato dalla presenza di diaframmi impermeabili e governato da impianti idrovori (nella parte a monte della zona industriale) ed emungimenti a fini ambientali che, in alcuni settori del territorio determinano variazioni delle direzioni di deflusso “naturale” della falda.

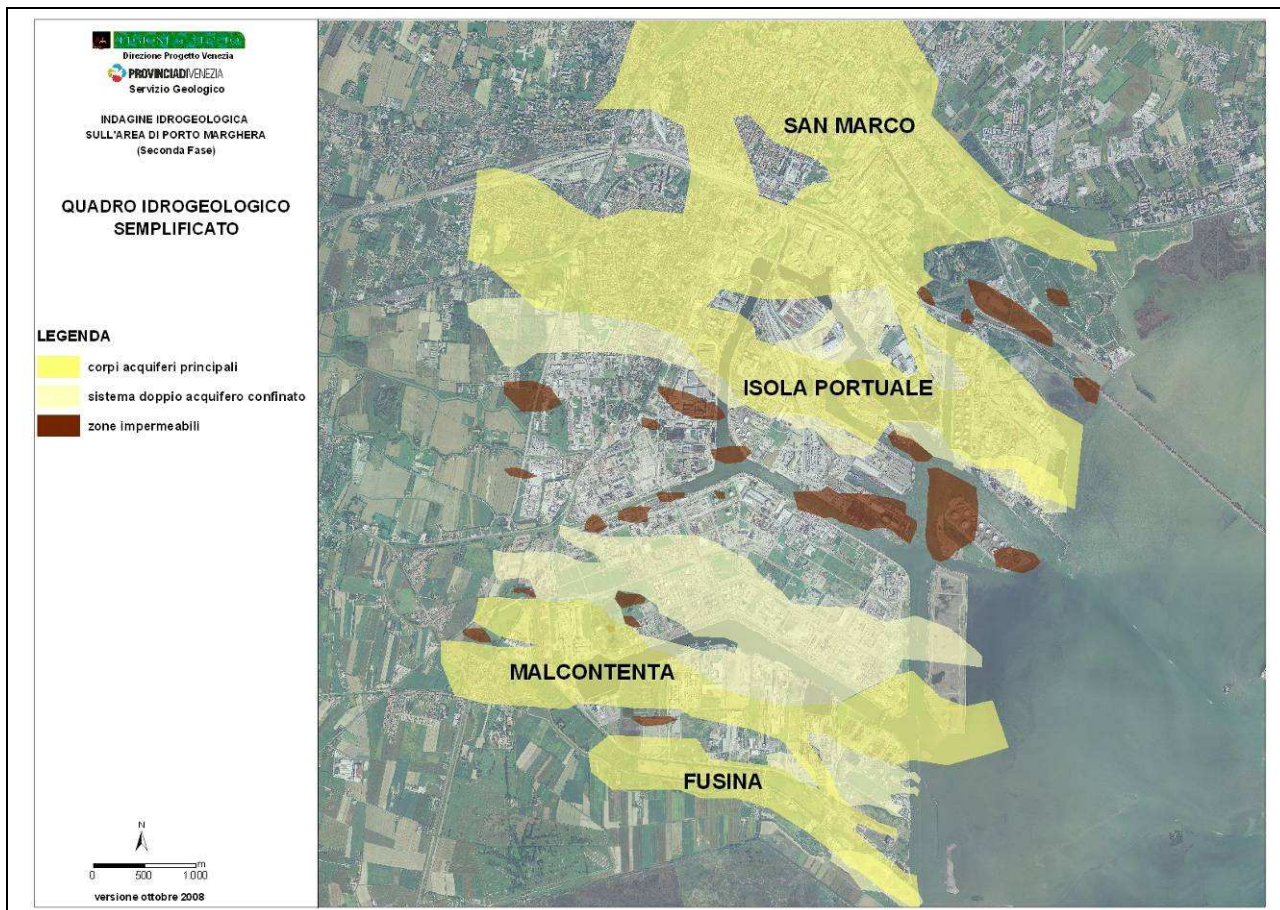


Figura 8.3.4.1 - Quadro idrogeologico semplificato.

Per permettere una chiara visione d'insieme del quadro idrogeologico si è proceduto ad una semplificazione del modello lito-stratigrafico precedentemente presentato.

Il modello idrogeologico "semplificato" del sottosuolo (Figura 8.3.4.1) all'interno del SIN è rappresentato da 4 corpi acquiferi (viale San Marco, area portuale, Malcontenta e Fusina) all'interno dei quali si hanno i maggiori valori di trasmissività; questo avviene in quanto questi corpi sono caratterizzati da importanti spessori di materiali permeabili (da 6 m a 15 m), costituiti in prevalenza da sabbia medio-fine, talvolta alternata a strati di sabbia-limosa.

I limiti di questi corpi non corrispondono ad una variazione laterale netta di granulometria, passando da materiali grossolani e permeabili a materiali a granulometria fine ed impermeabili, ma sono stati scelti "convenzionalmente" in relazione alla diminuzione di spessore degli strati sabbiosi. Infatti si è deciso di porre questo limite in coincidenza di spessori di sabbia di 6 m.

Si precisa, quindi, che al di fuori di questi limiti il sottosuolo non è costituito solo da materiali impermeabili ma da alternanze di materiali impermeabili e permeabili in cui però non si evidenziano spessori importanti di questi ultimi. Conseguentemente anche il sottosuolo che non ricade all'interno dei limiti dei corpi acquiferi tracciati può essere sede di una "falda" ma in modo subordinato, in termini di trasmissività, rispetto ai corpi acquiferi.

In Figura 8.3.4.1 si evidenzia la presenza di un potente e continuo livello impermeabile con orientazione Ovest-Est che suddivide il SIN in 2 sub-zone.

Nella parte settentrionale si attestano 2 corpi acquiferi, i corpi di viale San Marco e dell'area Portuale, che presentano caratteristiche idrogeologiche peculiari e diversificate tra loro. Il corpo di viale San Marco presenta quote del tetto mediamente più superficiali (+1/0 m s.l.m.) rispetto al secondo. Inoltre si mette in evidenza la mancanza di un vero e proprio tetto impermeabile e tale caratteristica determina per il corpo di viale San Marco un acquifero di tipo libero-semiconfinato. Un'altra caratteristica peculiare per questo corpo è l'elevato grado di continuità spaziale soprattutto lungo la direttrice principale di sedimentazione; verso valle (Forte Marghera, San Giuliano), la presenza di livelli impermeabili indica una variazione della direzione di sedimentazione del corpo. Vi sono inoltre livelli di sabbia anche grossolani con la presenza in tracce di ghiaia da media a fine (con diametro massimo da 2 a 4 cm) nella parte bassa della sequenza.

Il corpo dell'area Portuale presenta quote del tetto più profonde; inoltre si evidenzia la presenza di un continuo e importante tetto impermeabile tale da determinare un acquifero di tipo confinato. A differenza del corpo San Marco presenta un minor grado di continuità spaziale, evidenziato dal fatto che in alcuni settori la diminuzione del materasso permeabile determina localmente la formazione di un doppio acquifero confinato.

Procedendo oltre lo "spartiacque" impermeabile, verso l'area meridionale si incontrano altri 2 corpi: Malcontenta e Fusina. Il corpo Fusina è relativamente superficiale (tetto a -2/-3 m s.l.m.) ma presenta comunque un tetto impermeabile che lo confina.

Il corpo Malcontenta è caratterizzato da un importante materasso permeabile nella zona di monte; al tetto è presente un continuo livello impermeabile tale da determinare un acquifero confinato. Procedendo verso valle la struttura idraulica tende a modificare. Infatti si mette in evidenza come, procedendo verso la laguna, il sistema acquifero confinato si differenzia in un doppio acquifero confinato, in cui i 2 livelli permeabili risultano indipendenti tra di loro caratterizzati da differenti valori piezometrici.

Oltre ai 4 corpi acquiferi si sottolinea la presenza di un sistema acquifero a doppia falda confinata (sovrapposta) in coincidenza con la parte centro-meridionale del Nuovo Petrolchimico (Penisola della Chimica). Tale sistema, nella parte meridionale, tende a fondersi con il corpo Malcontenta. Data l'elevata potenza del corpo Malcontenta si ritiene plausibile la possibilità di interscambi tra i 2 corpi.

Si sottolinea che questa schematizzazione è una semplificazione (modello concettuale) della complessa idrogeologia dell'area.

8.4 Parametri idrogeologici

8.4.1 Metodologia di valutazione

La definizione della distribuzione nelle tre dimensioni dei parametri idrogeologici ha particolare rilevanza nella ricostruzione del quadro idrogeologico complessivo. Infatti la conoscenza dei parametri idrogeologici è necessaria per definire le modalità di deflusso delle acque sotterranee e, più in generale per analizzarne il comportamento idrodinamico.

Si citano come parametri idrogeologici che possono essere ritenuti di interesse ai fini della indagine idrogeologica quelli a cui faceva esplicito riferimento il previgente D.M. 471/99⁴:

- permeabilità
- trasmissività
- porosità efficace e coefficiente di immagazzinamento
- velocità efficace
- dispersività (parametri idrodispersivi)

Tra questi, ai fini pratici, la determinazione in campo riguarda soprattutto la permeabilità.

Sia la prima fase dell'indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera che il Master Plan evidenziavano, da una parte, la carenza di dati relativi alla distribuzione dei parametri idrogeologici e, dall'altra, una scarsa rappresentatività degli stessi⁵.

Nel corso della prima fase si erano quindi raccolti e georeferenziati i dati esistenti e si erano approfondite le metodologie applicabili alla situazione sito-specifica del SIN.

Il rapporto finale della prima fase indicava che:

<<Per i parametri idrogeologici appare quindi importante, in fase di programmazione della seconda fase, prevedere un congruo numero di prove per la parametrizzazione idrogeologica, da realizzare secondo standard uniformi su tutta l'area di interesse nazionale.>>

(...)

Per l'aspetto dei parametri idrogeologici si propone:

- *l'esecuzione di prove sperimentali sui piezometri già esistenti del tipo "slug test". Tali prove sperimentali consentono, con l'utilizzo di una strumentazione molto semplice e poco costosa, di effettuare un numero elevato di prove, permettendo così una veloce caratterizzazione degli acquiferi indagati. Questo tipo di intervento si*

⁴ I parametri idrogeologici previsti dal "Piano generale di indagine e monitoraggio dei suoli e delle falde dell'area di Porto Marghera" risultano:

"

...
 T = trasmissività (m^2/s)

k = permeabilità (m/s)

h = spessore dell'acquifero

S = coefficiente di immagazzinamento

v = velocità effettiva (m/s)

i = gradiente idraulico

n_e = porosità efficace

Per i livelli impermeabili e semipermeabili (acquicludi ed aquitardi) verrà definito il valore di permeabilità e per i livelli semipermeabili il fattore di fuga.

Verranno inoltre eseguite prove per la determinazione dei parametri idrodispersivi."

⁵ Va precisato che la scarsa rappresentatività era legata ad una elaborazione basata su un modello concettuale idrogeologico a "doppia falda" che come visto si riscontra solo su una limitata parte del SIN.

ritiene necessario soprattutto in quelle aree in cui i dati sui parametri idrogeologici sono più variabili oppure completamente assenti;

- *la verifica dell'utilizzabilità dei dati disponibili. Questa verifica, considerato il noto problema di confronto di parametri idrogeologici misurati con metodologie diverse, nonché il problema del fattore di scala, andrebbe attuata mediante la realizzazione di prove con metodiche diverse sul medesimo punto;*
- *in generale va osservato che per le indagini future è auspicabile dettagliare ulteriormente gli standard già forniti dal Comune di Venezia per la realizzazione dei campionamenti e della esecuzione dei sondaggi e dei piezometri, fornendo per ciascun parametro idrogeologico alcune specifiche e scegliendo, tra i metodi disponibili, quello/i più adatto/i all'area di Porto Marghera. Anche per l'ubicazione delle indagini idrogeologiche va però precisato che esse dovranno essere localizzate secondo un criterio ragionato sulla base delle caratteristiche geologiche del sito e mai utilizzando griglie predefinite>>>*

Relativamente alla metodica di determinazione, nella prima fase della indagine idrogeologica, si era fatto un confronto tra le diverse metodiche di prova che risultavano già essere state applicate nell'area di Porto Marghera.

Il confronto è riassunto dalla seguente tabella.

<i>Metodo</i>	<i>Vantaggi</i>	<i>Svantaggi</i>
<i>Slug test (Hvorslev, 1951)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Economicità • Velocità e facile esecuzione (in caso di numerosi piezometri possibilità di utilizzo estensivo) • Possibilità di esecuzione con attrezzatura semplice e in pozzi e piezometri non attrezzati • Non necessità di piezometri di osservazione • Possibilità di esecuzione su pozzi e piezometri con abbassamento specifico alto (ad es.: piezometri in sabbie "sporche") 	<ul style="list-style-type: none"> • Coinvolgono un volume di sottosuolo relativamente piccolo • Impossibilità di determinare limiti ed eterogeneità nell'intorno del punto di misura • Misura approssimativa • Impossibilità di esecuzione su acquiferi con permeabilità $<10^{-6}$ m/s e quindi su molti dei terreni di riporto presenti nell'area di Porto Marghera • Il coefficiente d'immagazzinamento S non può essere determinato (Robert P. Chapuis, D.Chenaf, 2002)
<i>Prove tipo Lefranc (A.G.I., 1977)</i> - <i>carico costante</i> - <i>carico variabile</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Economicità • Possibilità di esecuzione in fase di avanzamento di carotaggio • Non necessità di piezometri di osservazioni 	<ul style="list-style-type: none"> • Coinvolgono un volume di terreno relativamente piccolo • Impossibilità di determinare limiti ed eterogeneità nell'intorno del punto di misura • Misura approssimativa • Impossibilità di applicazione a piezometri completati
<i>Prove di pompaggio (conFigurazione pozzo- piezometro)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ampio volume di sottosuolo coinvolto • Studio quantitativo delle caratteristiche particolari dell'acquifero: condizioni ai limiti (conferma della distanza del pozzo dal limite...) struttura idrogeologica (eterogeneità, fuga...) • Precisione del dato • Misura di n_c (in falde freatiche) 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevato • Tempi lunghi di esecuzione • Necessità di pozzi e piezometri opportunamente attrezzati • Difficoltà od impossibilità di esecuzione in pozzi e piezometri con abbassamento specifico alto (ad es.: piezometri in sabbie "sporche") • Necessità di gestire, in diversi casi, acque contaminate

L'analisi della tabella evidenzia come nello specifico dell'area di Porto Marghera risulti di grande interesse l'applicazione del metodo, rapido ed economico, dello slug test. Infatti data la complessità geologica dell'area appare più significativo eseguire molte prove speditive che poche prove di grande dettaglio (prove di pompaggio in configurazione pozzo-piezometro). Inoltre alcuni dati di prove di pompaggio sono comunque state reperite in studi pregressi ed altre sono state fornite dal Magistrato alle Acque tramite il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova.

In sintesi quindi il percorso logico utilizzato per la parametrizzazione degli acquiferi è il seguente:

- informatizzazione nel geodatabase "idrogeologia" dei dati reperiti in piani di caratterizzazione ed altri studi;
- definizione della metodica di determinazione in campo;
- selezione dei piezometri per le indagini;
- esecuzione dei test idrogeologici (slug test) e elaborazione ed informatizzazione dei dati;
- elaborazione in funzione della distribuzione dei corpi acquiferi

8.4.2 Valori reperiti

I valori reperiti riguardano tutti i parametri idrogeologici provenienti da prove di campagna e di laboratorio. I dati sono stati reperiti all'interno dei piani di caratterizzazione delle aziende insediate e dalla precedente fase di studio sull'area. I dati sono stati inseriti in un'apposita tabella all'interno della banca dati idrogeologica.

L'eterogeneità della tipologia di prova eseguita, aggiunta all'incertezza sul livello investigato (in moltissimi casi non è riportata la profondità di esecuzione della prova in campagna) hanno permesso l'utilizzo di tali dati per la definizione di domini di permeabilità esclusivamente a grande scala.

8.4.3 Indagini in campo

Sono state condotte in campo una serie di misure sulla permeabilità delle falde intercettate dai piezometri monitorati.

Si è deciso di quantificare tale parametro attraverso lo Slug test. I vantaggi della prova Slug Test sono nella rapidità e semplicità d'esecuzione, che limitano di molto gli errori sistematici, rendendo utilizzabili dati provenienti da altre campagne di misura.

Il metodo è noto anche come "prove rapide d'acquifero". Per la teoria su cui si basa il metodo, si rimanda ai testi di idrogeologia. A titolo di esempio si cita che il metodo è dettagliato nel seguente articolo scientifico: CIVITA M., FIORUCCI A., PIZZO S., VIGNA B. 1999 - *Utilizzazione estensiva delle prove rapide d'acquifero per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Quaderni di Geologia Applicata suppl. 2/99: 105-109. Atti 3° Conv. Naz. protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13-14-15 ottobre 1999, Pitagora Ed., Bologna.

La prova consiste nel provocare una variazione istantanea del livello piezometrico all'interno del piezometro con l'introduzione e successivamente con l'estrazione di un volume noto (nel nostro caso si trattava di un solido avente volume noto).

In questo modo a parità di volume immerso nel piezometro, la velocità di ripristino delle condizioni piezometriche indisturbate, sono correlate con la permeabilità dell'acquifero.

Gli svantaggi nell'eseguire tale prova, risiedono nel fatto che l'area interessata dalla variazione di livello, è limitata ad un piccolo intorno del punto investigato, pertanto dovrà essere considerato come valore puntuale.

Inoltre, in acquiferi con conducibilità elevata dell'ordine di $10E-3$ m/s, i tempi di risposta sono difficilmente registrabili. Su materiali semipermeabili (permeabilità di $10E-6$ - $10E-7$ m/s) il metodo non è più applicabile.

Per registrare i dati relativi alla variazione del livello piezometrico si è utilizzato un data-logger con frequenza di registrazione di 1 sec, e 1800 record registrabili. La sensibilità del trasduttore di pressione (sensore di livello) utilizzato è pari ad un centimetro d'acqua.

I dati registrati sono stati elaborati secondo i modelli di Hvorslev (1951).

Durante la campagna di misurazione sono stati eseguiti 30 slug test con valori di conducibilità idraulica da $2,47 E-6$ m/sec a $2,41 E-4$ m/sec.

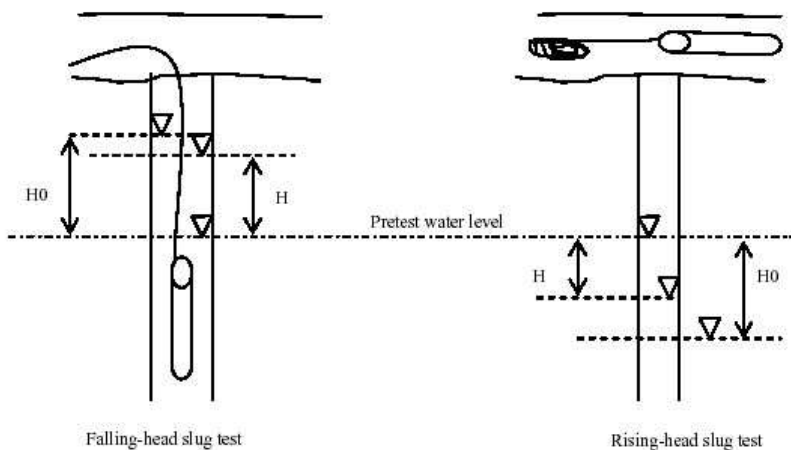


Figura 8.4.3.1 - Schema di uno slug test

8.4.4 Distribuzione dei parametri in rapporto ai corpi acquiferi.

8.4.4.1 Analisi statistica preliminare

Si riportano di seguito dati e distribuzioni spaziali delle prove eseguite e dei parametri inseriti nella banca dati idrogeologica.

La Figura 8.4.4.1.1 riporta tutti i dati disponibili, quindi non solo quelli relativi ai corpi acquiferi (oggetto delle successive elaborazioni) ma anche quelli relativi a materiali permeabili e semipermeabili.

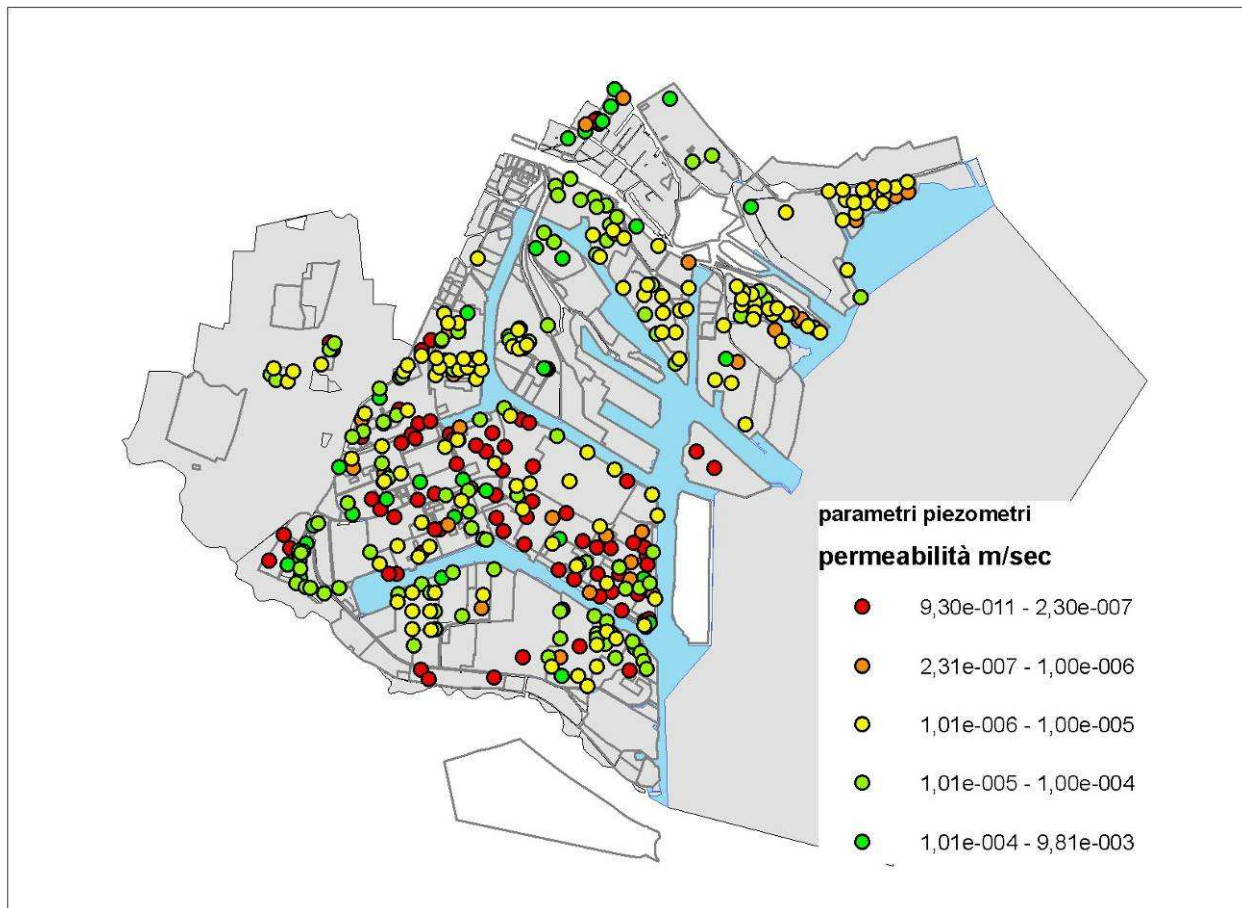


Figura 8.4.4.1.1 - Distribuzione dei valori misurati di permeabilità.

Nella banca dati sono presenti 442 record relativi a parametri idrogeologici su 314 punti di misura.

La distribuzione spaziale dei parametri idrogeologici è legata allo stato di fatto delle analisi ambientali all'interno dell'area di studio. Si ha infatti una buona distribuzione nella penisola della chimica – vecchio petrolchimico, macroarea Sud e prima zona industriale. Discriminando i dati in base alla tipologia di prova si evidenzia come la maggior parte dei parametri derivi da prove veloci e di facile esecuzione come slug test e prove Lefranc a carico variabile.

La cartografia di Figura 8.4.4.1.1 mostra la distribuzione cartografica dei dati suddivisi per classe di permeabilità, mentre la Figura 8.4.4.1.2 indica la disponibilità di dati in funzione del tipo di prova.

Attraverso *metodi statistici di base* si sono cercate possibili correlazioni tra posizione della prova e parametri misurati, per arrivare ad una parametrizzazione dei corpi acquiferi individuati attraverso l'analisi geologica.

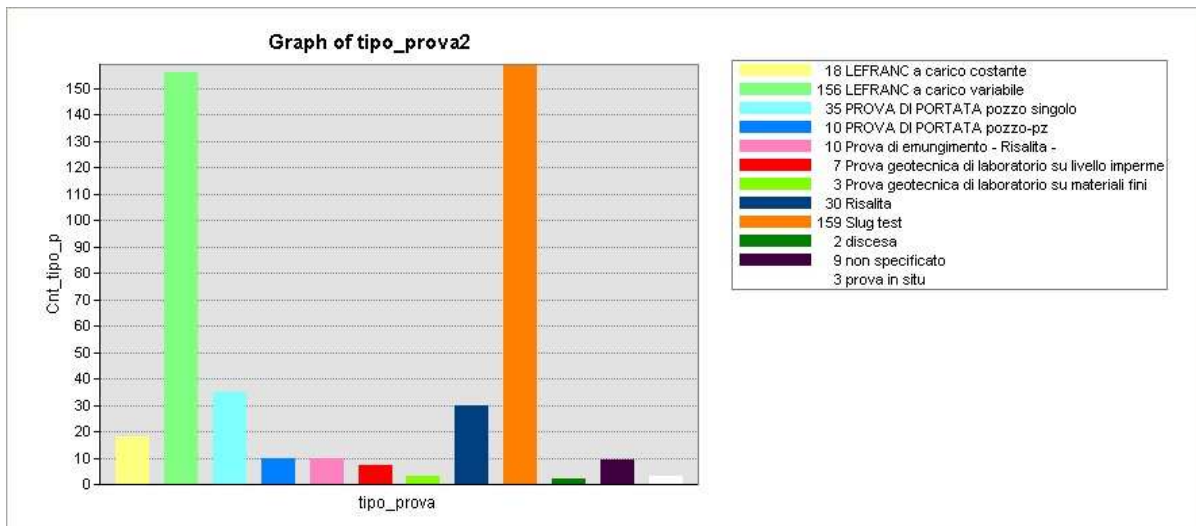


Figura 8.4.4.1.2 - Grafico della distribuzione dei parametri in funzione del tipo di prova idrogeologica eseguita.

Una prima analisi statistica (vedi fig 8.4.4.1.3) attraverso un grafico QQPlot con trasformazione logaritmica su tutta la popolazione di dati mette in evidenza la presenza di due code, una negativa (valori dell'ordine di $10E-11$) e una positiva (valori dell'ordine di $10E-3$). Analizzando la provenienza di tali dati fuori trend, risultano provenire da prove di permeabilità di laboratorio eseguite su campioni indisturbati, quindi materiali prevalentemente fini, e da prove di pompaggio eseguite nell'area ITALGAS ex CLEDCA. Tali dati non sono stati utilizzati nelle elaborazioni successive.

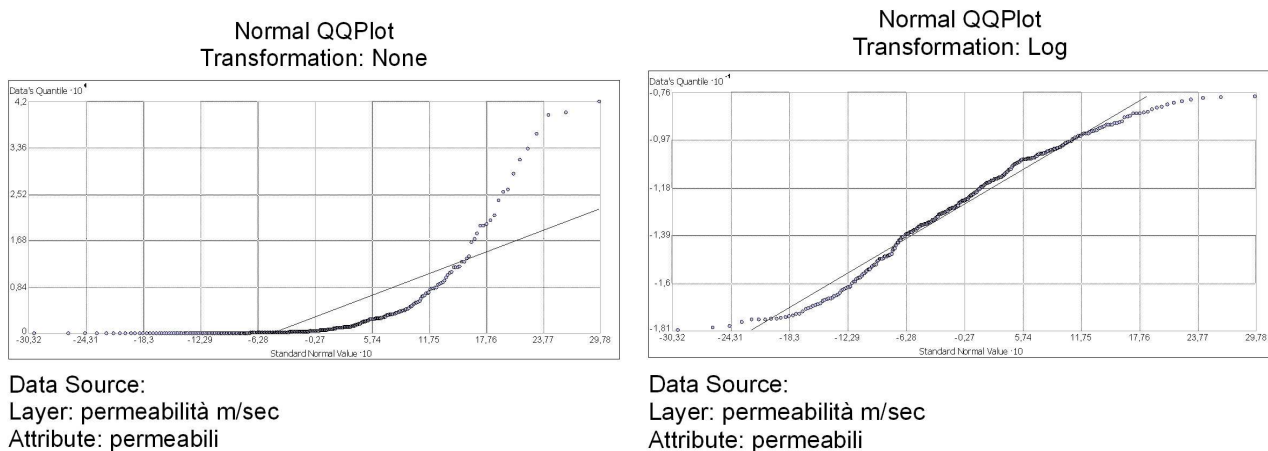


Figura 8.4.4.1.3 - Distribuzione di tutti i parametri idrogeologici inseriti nella banca dati. Normal QQPlot logaritmico che mette in evidenza la presenza di due code, una positiva e una negativa che si discostano dal trend centrale.

I grafici successivi mostrano la distribuzione Log normale dei valori di conducibilità idraulica provenienti dalle sole prove di campagna all'interno del Sito di Interesse Nazionale.

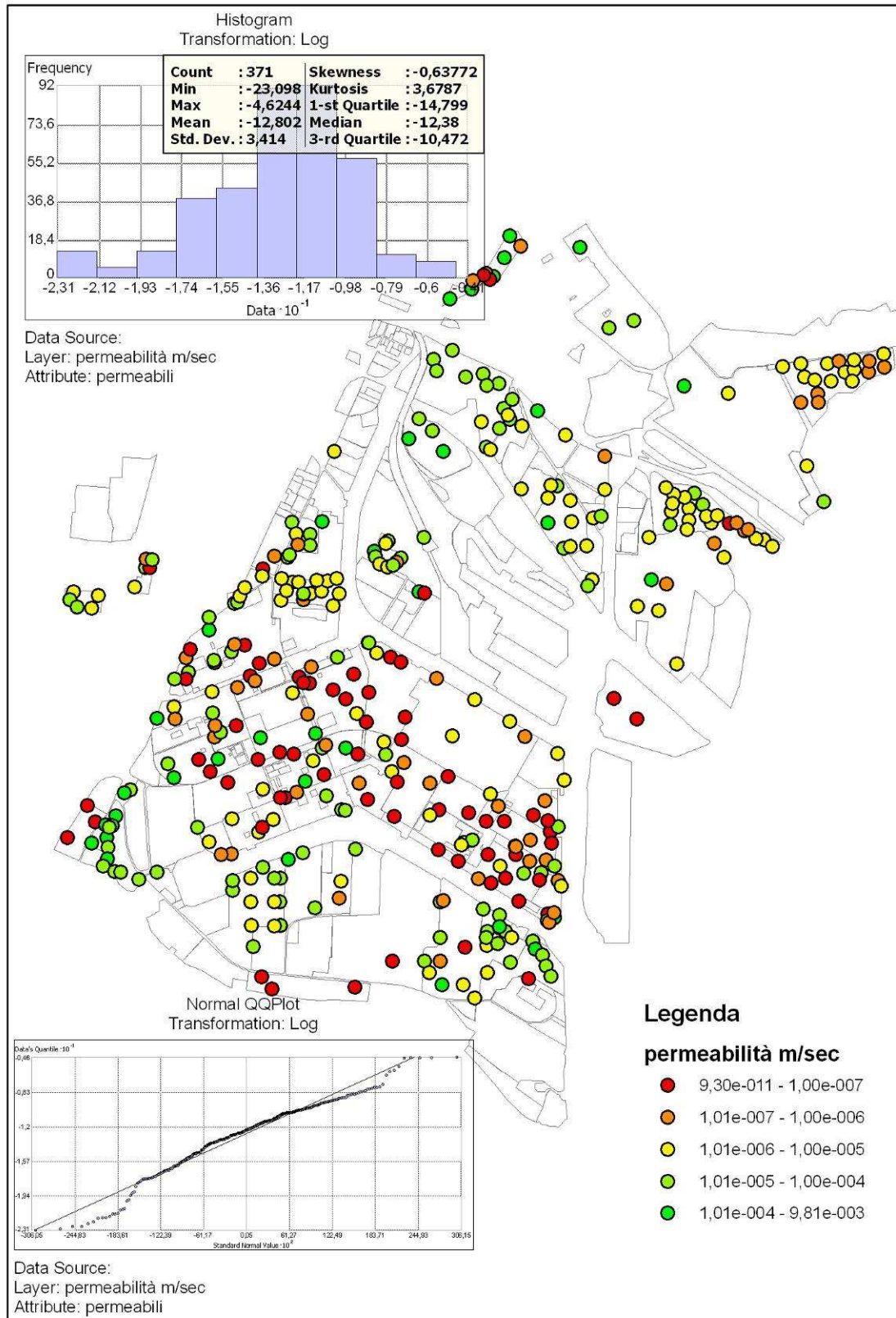


Figura 8.4.4.1.4 - Distribuzione cartografica di tutti i valori di permeabilità inseriti nella banca dati (riferiti sia ad acquiferi che ad acquicludi).

8.4.4.2 Analisi dei test idrogeologici eseguiti per l'indagine idrogeologica

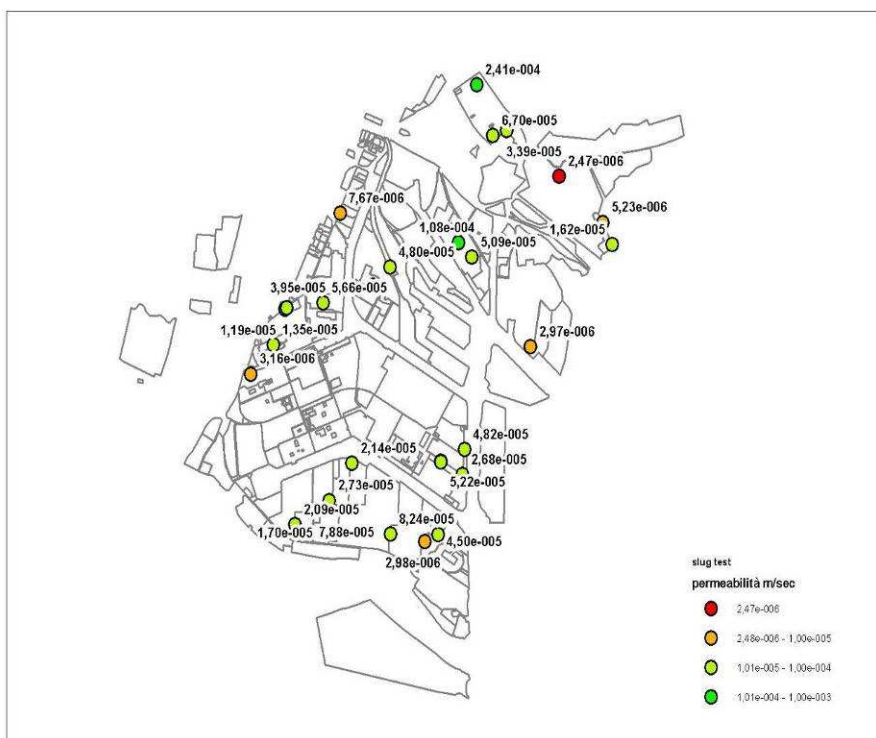
Dopo questa fase preliminare di analisi statistica relativa a tutti i dati di permeabilità disponibili, si è concentrata l'analisi sui risultati delle indagini specificatamente svolte in campo per la presente indagine e sulla caratterizzazione dei corpi sabbiosi che costituiscono i principali acquiferi dell'area di Porto Marghera.

In Figura 8.4.4.2.1 si osservano i punti d'indagine nei quali è stata eseguita una prova di slug-test nell'ambito di questo lavoro.

Analizzando attraverso uno "scatter plot" (Figura 8.4.4.2.2) i valori di permeabilità derivati dagli slug test eseguiti nell'ultima campagna si evidenzia un campo di valori con permeabilità relativamente basse proprie di litologie sabbioso-limose.

La mediana di K risulta pari a $3E-5$ m/s. Si tratta di un valore paragonabile con la mediana di K calcolata considerando tutti i valori derivati da slug test all'interno dell'area di studio ($1,19E-5$).

Prendendo in esame tutti i valori di K disponibili in banca dati, esclusi quelli provenienti da prove di laboratorio (normalmente riferiti ad acquiclude), si ha una K mediana = $7,6 E-6$ m/s.



id origina	fonte	tipo prova	data esecuz	permeabili	metodo int
1715	APV	Slug test	01/04/2008	4.80e-005	Hvorslev
AZO 17	EDISON	Slug test	10/01/2008	7.11e-005	Hvorslev
M0038	SYNDIAL	Slug test	19/09/2007	4.82e-005	Hvorslev
M2007	SYNDIAL	Slug test	19/09/2007	3.25e-005	Hvorslev
M2008	SYNDIAL	Slug test	19/09/2007	5.22e-005	Hvorslev
VP 57	SYNDIAL	Slug test	09/01/2008	1.19e-005	Hvorslev
ING3 2	SYNDIAL	Slug test	09/01/2008	1.04e-005	Hvorslev
W110	DOW Poliuretani Italia	Slug test	19/09/2007	2.68e-005	Hvorslev
PP-31	Decal	Slug test	27/06/2007	2.73e-005	Hvorslev
PZE2-S	AREA 43 Ha	Slug test	27/06/2007	1.70e-005	Hvorslev
PZE2-P	AREA 43 Ha	Slug test	27/06/2007	7.88e-005	Hvorslev
P1	Polo Nautico S. Giuliano	Slug test	01/04/2008	1.62e-005	Hvorslev
PP2	Polo Nautico S. Giuliano	Slug test	01/04/2008	5.23e-006	Hvorslev
PZ63	ENI S.p.A.	Slug test	01/04/2008	2.97e-006	Hvorslev
MT12	SYNDIAL MT	Slug test	19/09/2007	3.16e-006	Hvorslev
PF1	PILKINGTON	Slug test	10/01/2008	1.08e-004	Hvorslev
PF4	PILKINGTON	Slug test	10/01/2008	5.09e-005	Hvorslev
C39	VESTA	Slug test	28/06/2007	2.98e-006	Hvorslev
SMA PZ NS0	VILLAGGIO S. MARCO	Slug test	01/04/2008	2.41e-004	Hvorslev
SMA PZ NS1	VILLAGGIO S. MARCO	Slug test	01/04/2008	3.39e-005	Hvorslev
SMA PZ NS1	VILLAGGIO S. MARCO	Slug test	01/04/2008	6.70e-005	Hvorslev
4665	ENEL Fusina	Slug test	27/06/2007	4.50e-005	Hvorslev
S41	Acciaierie Beltrame	Slug test	27/06/2007	8.24e-005	Hvorslev
PF	AREA 10 Ha	Slug test	27/06/2007	2.09e-005	Hvorslev
P05B	ENEL Marghera	Slug test	09/01/2008	3.95e-005	Hvorslev
P05C	ENEL Marghera	Slug test	09/01/2008	5.66e-005	Hvorslev
PZ2P	GMI	Slug test	09/01/2008	7.67e-006	Hvorslev
WPE3Bis	SYNDIAL	Slug test	09/01/2008	1.35e-005	Hvorslev
PPF1	EX ABIBES	Slug test	27/06/2007	2.14e-005	Hvorslev
PP1	Parco S. Giuliano	Slug test	01/04/2008	2.47e-006	Hvorslev

Figura 8.4.4.2.1 - Distribuzione e valori degli slug test eseguiti nell'ambito di questo lavoro dal servizio geologico della provincia di Venezia

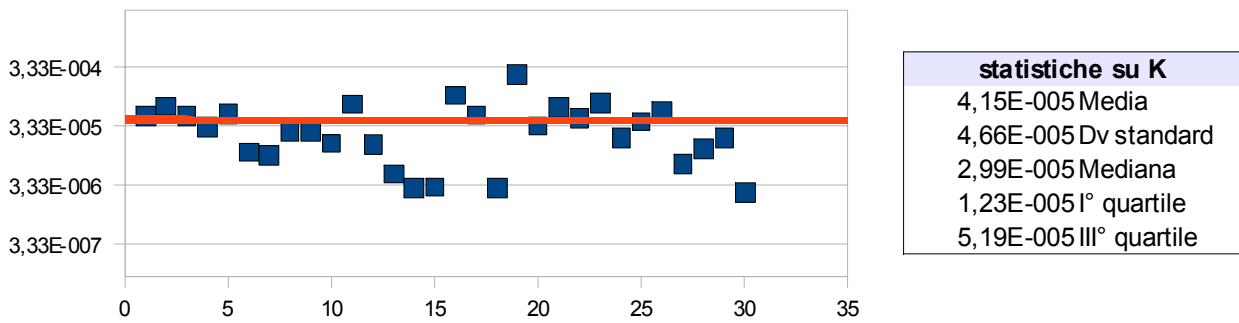


Figura 8.4.4.2.2 - Scatter plot dei valori di permeabilità da Slug test eseguiti dal Servizio Geologico della provincia di Venezia.

8.4.4.3 Analisi spaziale per corpo acquifero

Si è poi passati ad analizzare i dati considerando la loro posizione spaziale.

Attraverso l'uso di software GIS si sono selezionati i parametri ricadenti all'interno dei singoli corpi acquiferi individuati nelle precedenti fasi di analisi geologica e di modellizzazione tridimensionale degli acquiferi.

Si riportano di seguito alcune analisi effettuate considerando i corpi principali⁶:

- Corpo Viale San Marco
- Corpo Area Portuale
- Corpo 2 falde
- Corpo Malcontenta

⁶

Si ricorda che per il corpo acquifero "Fusina" non si dispone di valori di permeabilità.

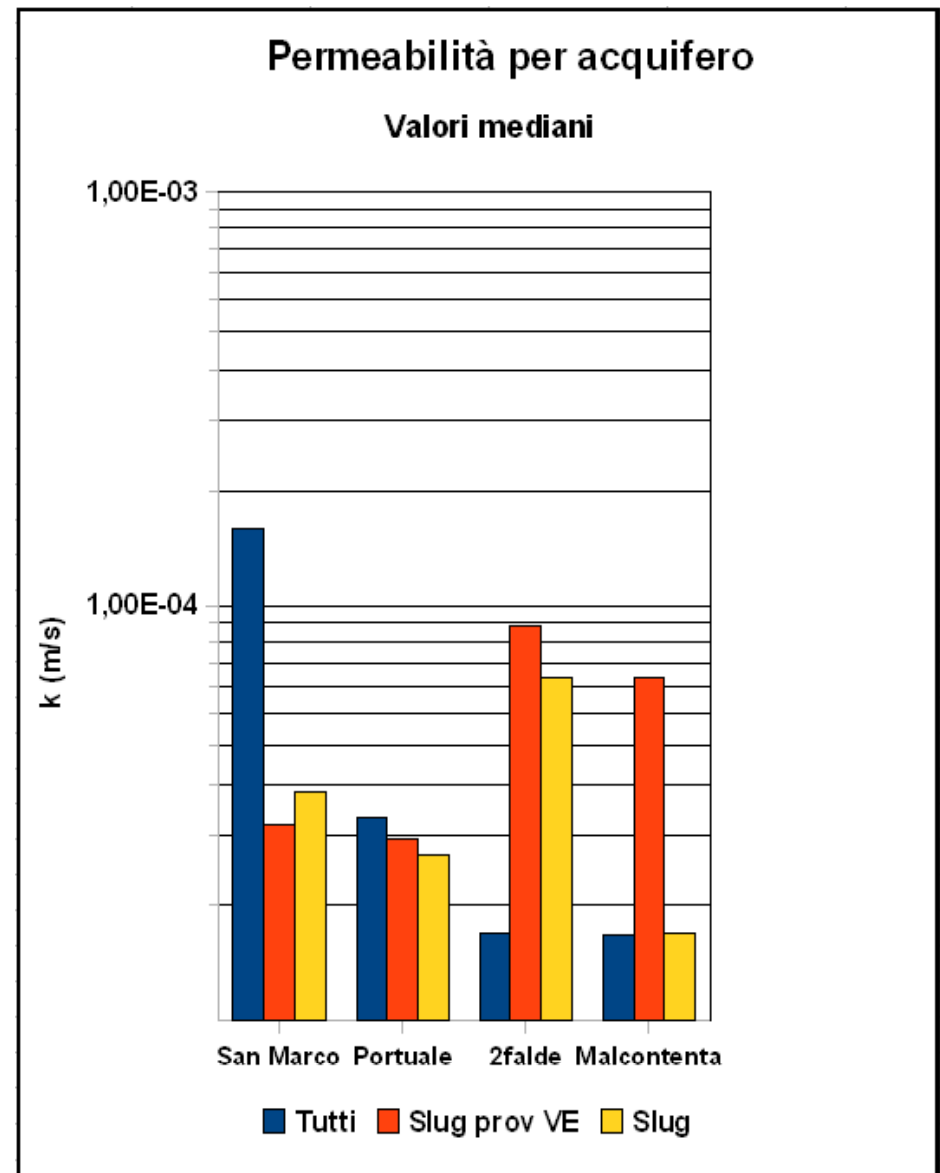
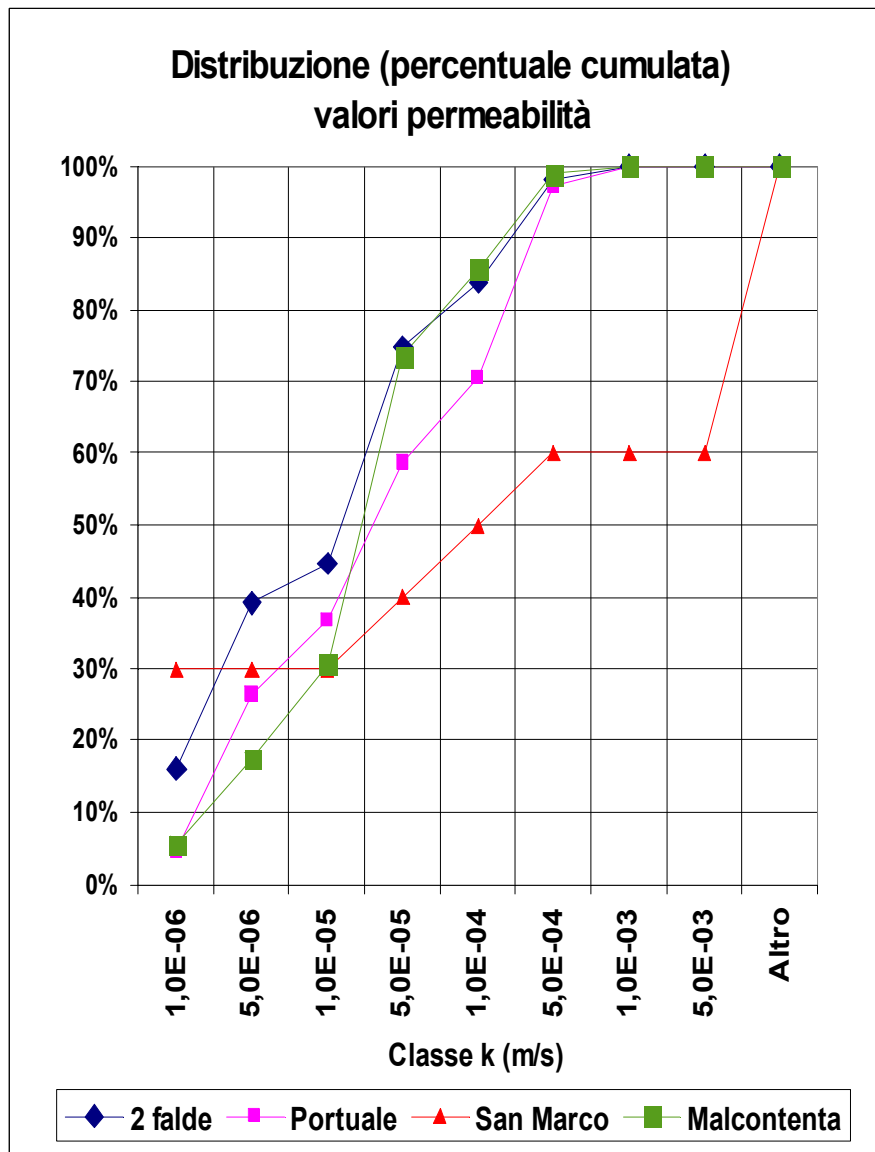


Figura 8.4.4.3.1 - Curva di distribuzione dei valori di permeabilità suddivisi per corpo acquifero. Valori medi suddivisi per corpo acquifero e per metodologia di prova.

Le curve di distribuzione (Figura 8.4.4.3.1 – grafico a sinistra) evidenziano un andamento pressoché uguale per tutti quattro i corpi considerati, con valori al 50% che stanno comunque all'interno di classi di permeabilità pertinenti a litologie medio-fini.

Successivamente si sono graficati (Figura 8.4.4.3.1 – grafico a destra) i valori mediani riferiti ad ogni corpo, distinti per tipologia di prova.

Tutti e quattro i corpi hanno valori caratteristici di permeabilità dell'ordine di $10E-5$ m/s con valori mediani attorno a $5*10E-5$ m/s.

Al fine di caratterizzare ulteriormente i corpi si è inoltre calcolato il valore medio (seppur meno significativo di quello mediano) (Tabella 8.4.4.3.2).

Tabella 8.4.4.3.2 - Valori medi di permeabilità dei corpi acquiferi

Corpo Acquifero	Permeabilità K (m/s)
S. Marco	9,6E-05
Area Portuale	4,8E-05
2 Falde	2,7E-05
Malcontenta	2,6E-05
Fusina	n.d.

I dati disponibili per ciascun corpo acquifero sono riportati in Figura 8.4.4.3.3.

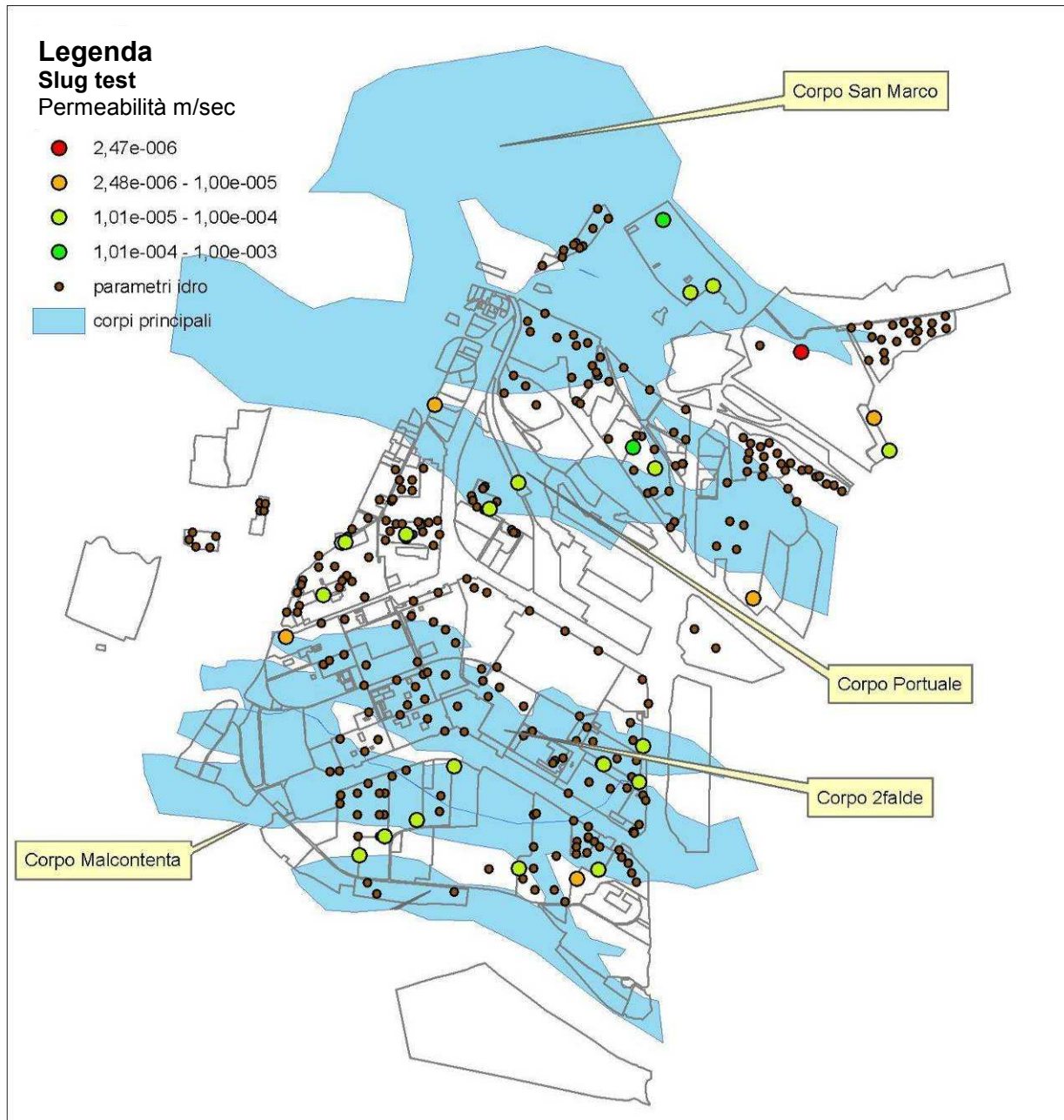


Figura 8.4.4.3.3 - Rappresentazione dei corpi principali individuati. Sono riportati il posizionamento dei valori di K (pallini piccoli) e i valori di K derivanti da slug-test (pallini grandi); quest'ultimi suddivisi per classe di permeabilità.

Utilizzando il modello tridimensionale si è passati a considerare i 4 corpi analizzati in precedenza facenti parte di due domini, già visti nel capitolo 7.8.1, uno posto nella parte Nord (San Marco e Portuale) ed uno nella parte Sud (Malcontenta e Fusina).

Con i valori di permeabilità e l'area delle sezioni (volume acquifero) è possibile indirettamente calcolare le portate attese in funzione del gradiente piezometrico per quella specifica sezione (questo tema verrà affrontato nei paragrafi successivi).

A titolo esemplificativo della metodologia seguita, i corpi acquiferi sono rappresentati schematicamente nelle successive figure, con evidenziati i piezometri ed i rispettivi tratti filtrati su cui sono state determinati i valori permeabilità.

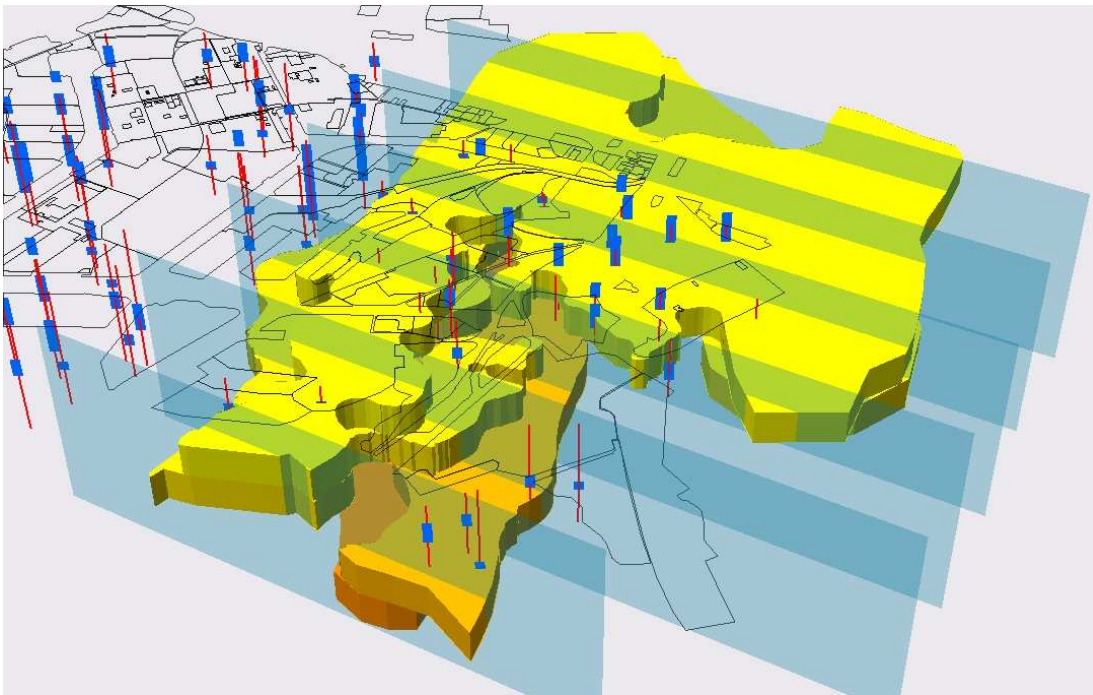


Figura 8.4.4.3.4 - Corpo Nord visto in direzione NE-SO. Il corpo è stato intersecato con i layer dei piezometri e rispettivi tratti filtrati. I contorni delle aree sono posizionati a quota 0.0 m slm mentre i quattro volumi di spessore 5m, vanno da -5 a -25 m slm. Le quote sono esagerate di un fattore 50 rispetto alle distanze planimetriche.

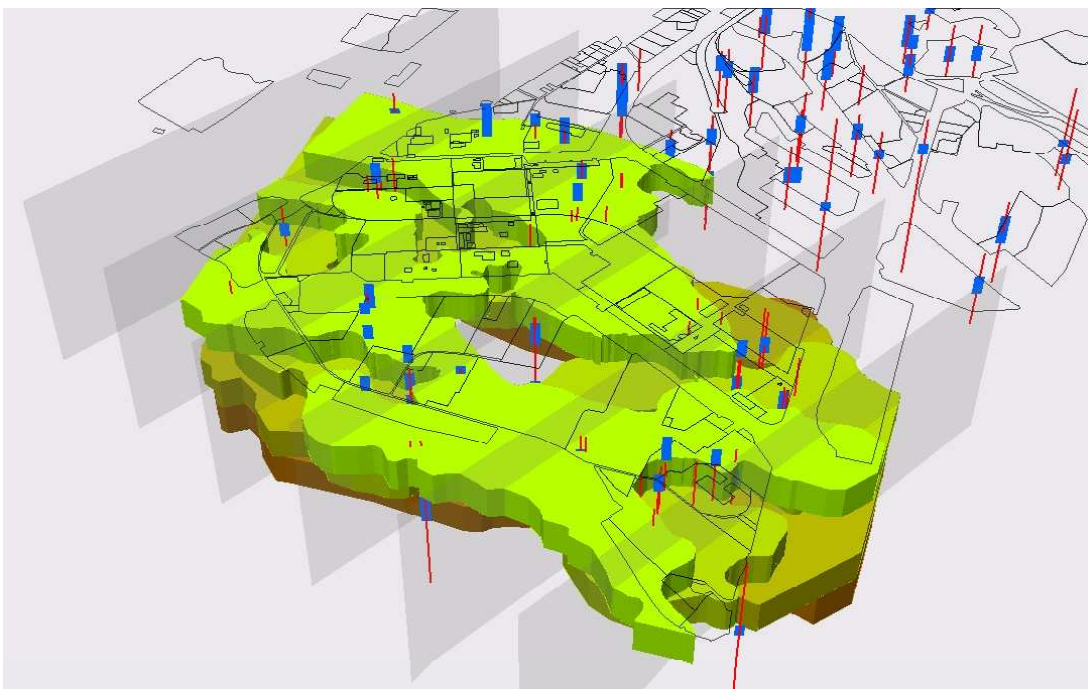


Figura 8.4.4.3.5 - Corpo Sud visto in direzione SE-NO. Il corpo è stato intersecato con i layer dei piezometri e rispettivi tratti filtrati. I contorni delle aree sono posizionati a quota 0.0 m slm mentre i quattro volumi di spessore 5m, vanno da -5 a -25 m slm. Le quote sono esagerate di un fattore 50 rispetto alle distanze planimetriche.

8.5 Piezometria

8.5.1 Metodologia

In relazione agli obiettivi della indagine idrogeologica, la ricostruzione della piezometria riveste particolare rilevanza. Infatti dalla distribuzione della piezometria è possibile definire la quantità e le modalità dei flussi idrici sotterranei, nonché i rapporti tra i diversi acquiferi.

La prima fase della indagine idrogeologica aveva iniziato le attività per definire la piezometria ed il suo regime ed aveva messo a punto la metodologia di lavoro. Tale metodologia si basava sulla constatazione della inusuale complessità del sito. Infatti se già in prima fase si era visto una piezometria caratterizzata da bassi gradienti (e quindi da flussi quasi nulli), d'altra parte si era visto che i metodi normalmente utilizzati in idrogeologia per le ricostruzioni piezometriche non erano sufficienti per il sito di Porto Marghera.

A tale riguardo si riporta letteralmente dal rapporto tecnico relativo alla prima fase:

<<Altro elemento di base per qualsiasi indagine idrogeologica è la ricostruzione dei flussi nelle diverse fasi per ciascuna falda.

Tale ricostruzione, da attuare mediante misure piezometriche, nel caso di Porto Marghera risulta estremamente complessa per effetto di una sommatoria di fattori antropici e naturali o seminaturali, tra i quali merita ricordare almeno i seguenti:

- *l'interazione tra regime di marea e regime piezometrico delle falde;*
- *l'interazione tra acque sotterranee e corsi d'acqua superficiali;*
- *le frequenti eteropie di facies;*
- *le modificazioni indotte dai marginamenti e da altre opere di confinamento;*
- *le modificazioni indotte da scavi e riporti, spesso interessanti anche completamente il primo acquicludo (barena/caranto);*
- *la presenza di strutture di fondazione su pali di notevoli dimensioni.>>*

Proprio in rapporto a questa complessità si era definito un piano di lavoro basato principalmente sul monitoraggio in continuo. Questo perché, laddove il regime piezometrico è influenzato dal regime della marea, le oscillazioni nel corso di un ciclo di marea possono essere quantitativamente maggiori di quelle che si hanno in valori medi tra diversi piezometri.

Il percorso metodologico per questa parte del lavoro schematicamente è stato:

- selezione preliminare di punti su cui eseguire le indagini;
- verifica dei punti in campo con la collaborazione delle aziende o degli enti proprietari
- misure preliminari finalizzate alla verifica della efficienza dei piezometri
- monitoraggi piezometrici e di altri parametri dapprima per aree ristrette e quindi a scala di sito di indagine
- raccolta dati sugli elementi potenzialmente interferenti con la piezometria (maree, emungimenti, marginamenti, corpi idrici superficiali...)
- elaborazione e restituzione dei dati

Questa fase di lavoro ha quindi richiesto mesi di lavoro di campo con esecuzione di un notevolissimo numero di misure (considerata anche la difficoltà di eseguire rilievi in un'area industriale attiva, con insediate centinaia di aziende).

Si tratta del primo caso in cui vengono eseguite misure sistematiche a scala dell'intero SIN. I monitoraggi sono tuttora in corso e quindi potranno essere ancora oggetto di aggiornamenti.

Va precisato che questa fase di lavoro non avrebbe mai potuto svolgersi senza la collaborazione delle aziende e di altre strutture proprietarie dei piezometri che hanno fornito l'accesso ai punti ed il supporto operativo con disponibilità ampia che va al di là di quanto formalmente chiesto dalla Provincia.

Si segnala infine che data la complessità dell'analisi delle componenti influenti il regime piezometrico si sono svolte anche alcune elaborazioni non previste dal piano di lavoro utilizzando software dedicati alla analisi delle serie temporali con la collaborazione del Prof. Paolo Fabbri del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, nell'ambito della collaborazione prevista su un altro progetto provinciale ("progetto IDRO"). Dato il carattere sperimentale non vengono qui riportate.

8.5.2 Dati pregressi

Come risulta evidente nel Master Plan, le informazioni sulle piezometrie, precedentemente alla indagine idrogeologica, erano limitate ad alcuni settori del SIN.

Le uniche informazioni che interessavano aree piuttosto vaste erano relative a varie campagne di misura nella penisola della chimica. Era inoltre disponibile uno studio sulla zona a Nord del Canale industriale Nord⁷, comprensivo di misure contemporanee di piezometria ed un modello matematico.

Vanno infine ricordati i dati raccolti dal Consorzio Venezia Nuova per conto del Magistrato alle Acque di Venezia, in relazione alla costruzione dei marginamenti dei canali industriali.

8.5.3 Monitoraggio in continuo

Una fase molto importante dello studio ha riguardato il monitoraggio in continuo dell'intera area di Porto Marghera, allo scopo di definire l'andamento della superficie piezometrica di ogni corpo acquifero.

Per le analisi di campo sono state utilizzate 17 sonde con trasduttori di pressione collegati a data logger e 6 sonde multiparametriche a sei parametri, per un totale di 92 piezometri monitorati nell'arco dell'intera indagine. Le specifiche tecniche della strumentazione sono disponibili, presso il servizio geologico provinciale, nella documentazione relativa alla indagine.

Il monitoraggio dell'area oggetto di studio è stato articolato in 2 fasi.

Prima fase: sono state effettuate 4 campagne mensili (Figura 8.5.3.1), suddivise per "macroarea", procedendo da Sud verso Nord:

- Fusina;
- Nuovo Petrolchimico;
- Isola Portuale e Vecchio Petrolchimico;
- Prima Zona Industriale.

⁷ Thetis, Consorzio Venezia Ricerche, VESTA, Sinergeo (2005) - *Progetto di bonifica delle falde superficiali della macroisola "Prima Zona Industriale" di Porto Marghera*

Seconda fase: monitoraggio complessivo dell'intero SIN di "lunga durata" in contemporanea con la rimanente area del SIN, a nord della ferrovia. Non essendo disponibili piezometri nelle aree agricole, questa zona è stata esclusa dai monitoraggi in continuo.

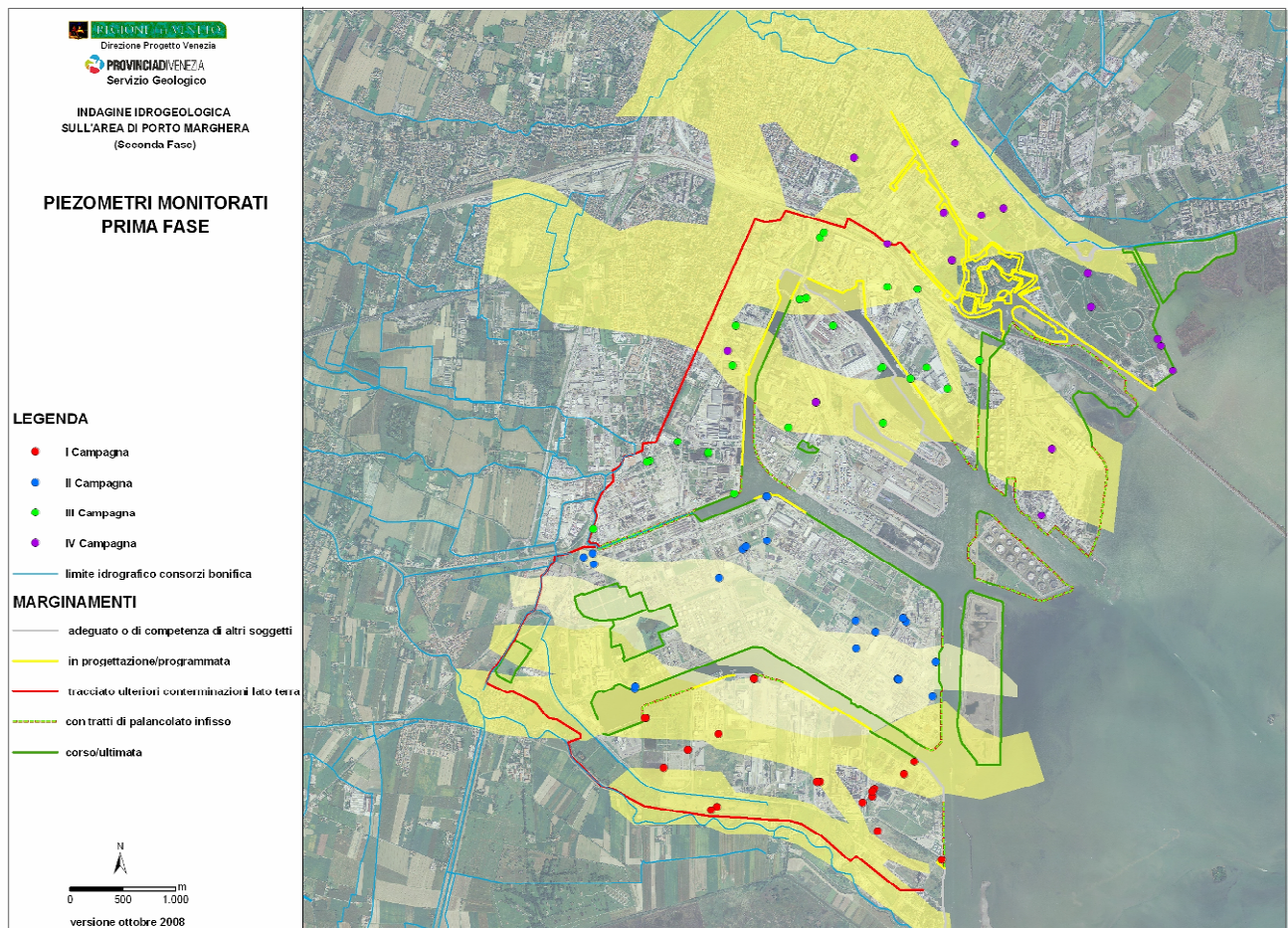


Figura 8.5.3.1 – Ubicazione dei piezometri "Prima fase di monitoraggio"

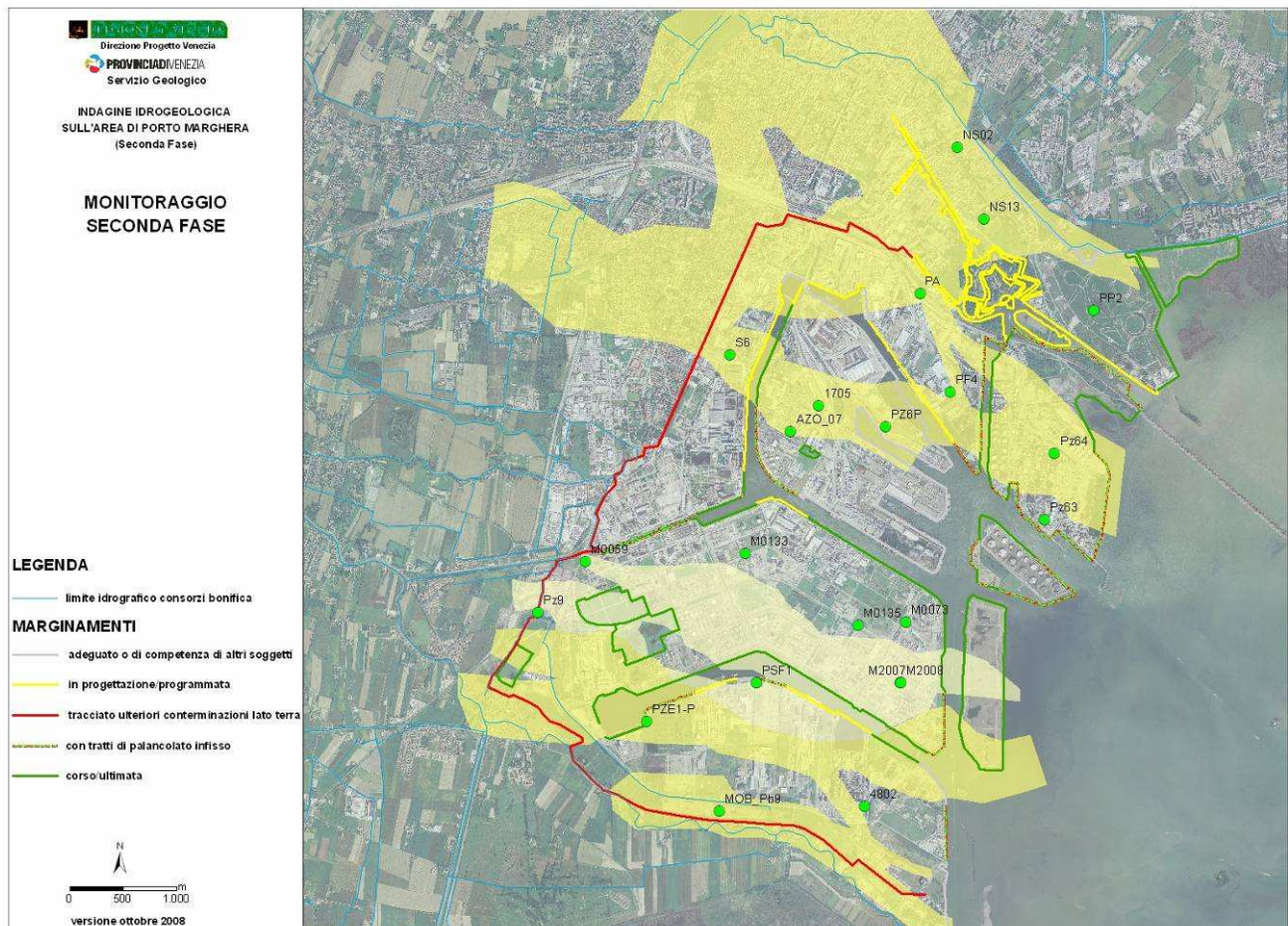


Figura 8.5.3.3 – Ubicazione dei piezometri “Seconda fase di monitoraggio”

Alla base di tale scelta metodologica ci sono vari elementi:

1. nessuna indagine piezometrica pregressa era disponibile a scala di SIN e quindi non si disponeva di dati su cui basare la distribuzione dei punti da monitorare;
2. il regime piezometrico è influenzato da un elevato numero di parametri, variabili nel tempo e nello spazio, che rendono di una complessità assolutamente inusuale la ricostruzione del campo di moto;
3. la complessità della struttura geologica ed idrogeologica indica la necessità di un elevato numero di piezometri da sottoporre a monitoraggio

Con tale scelta metodologica si è quindi previsto di:

- approfondire dapprima su area relativamente omogenea il comportamento degli acquiferi e verificarne il regime piezometrico al fine di evidenziare le differenze o le connessioni tra i corpi permeabili posti a vari livelli e per capirne il comportamento in relazione all'andamento di marea e alle pluviometrie;
- per poi iniziare un monitoraggio a scala di SIN, quando, compreso nella sostanza l'assetto idrostratigrafico, è stato possibile riferire le posizioni dei filtri dei piezometri ai vari corpi acquiferi individuati.

I periodi in cui sono stati effettuati i monitoraggi sono i seguenti:

CAMPAGNA	PERIODO DI MONITORAGGIO
I° - Fusina - Malcontenta	17/05/07 – 28/06/07
II° - Nuovo Petrolchimico	10/07/07 – 04/09/07
III° - Isola Portuale e Vecchio Petrolchimico	15/10/07 – 10/01/08
IV° - Prima Zona Industriale	29/01/08 – 31/03/08
V° - in tutto il SIN	29/04 – in corso

La densità dei punti di misura nel territorio non è purtroppo omogenea: infatti la scelta dei piezometri di monitoraggio è dipesa sia da fattori costruttivi, quali diametro e lunghezza dei piezometri, sia pratici, come l'accessibilità alle aree e l'effettiva presenza di piezometri adeguati allo scopo.

Precedentemente alle fasi di monitoraggio sono state effettuate alcune operazioni preliminari sui singoli piezometri: infatti per verificarne l'efficienza è stato eseguito in un primo tempo uno spurgo con pompa elettrica ad immersione a bassa portata per accertare che il tratto filtrato non risultasse intasato e successivamente, dopo il ripristino del livello statico, un log in foro. Per quest'ultima operazione è stata utilizzata una sonda multiparametrica Hydrolab che ha permesso di registrare in continuo 6 parametri: temperatura, Ph, potenziale redox, conducibilità, salinità e ossigeno disciolto.

Il log in foro ha permesso inoltre di verificare un'eventuale stratificazione idrogeochimica del tratto filtrato del corpo acquifero che ha permesso di ricostruire la profondità dell'intrusione marina (fig 8.5.3.3).

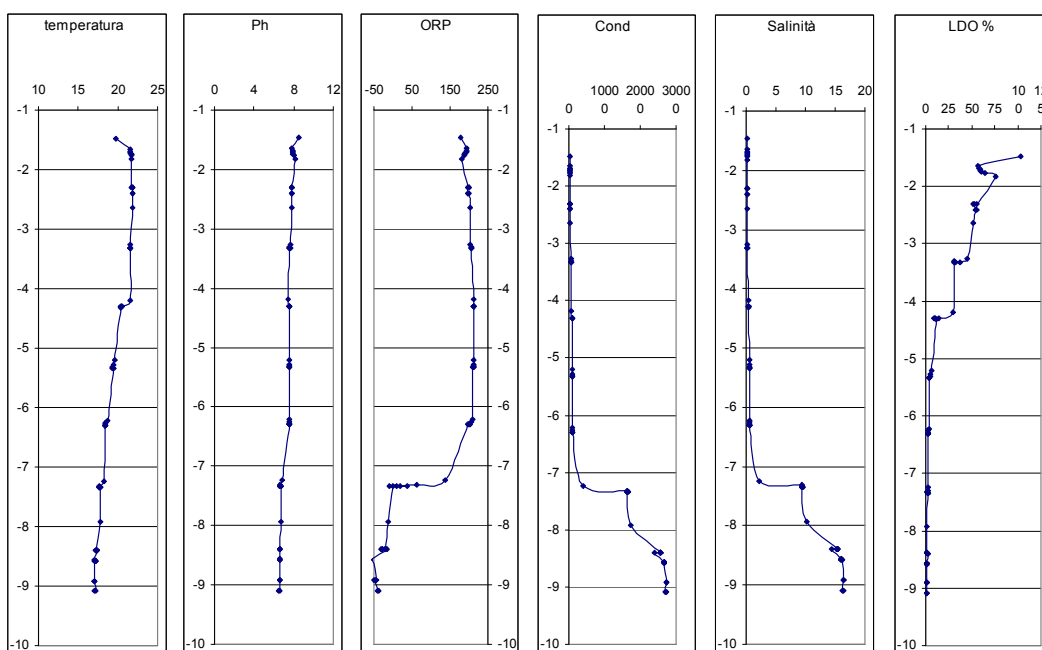


Figura 8.5.3.3 - Esempio di logs in foro eseguito su un piezometro in monitoraggio

La prima fase ha riguardato, nelle prime due campagne, indistintamente piezometri intercettanti, secondo il modello superato del Masterplan, le falde di riporto, di prima e di seconda in quanto era ancora in corso la fase di ricostruzione idrostratigrafica dell'area in studio. Con il proseguo del lavoro, e conseguentemente con l'affinamento del modello idrostratigrafico è stato possibile individuare i piezometri che, in funzione della profondità del tratto fenestrato e della loro ubicazione, risultavano più adatti al monitoraggio dei corpi acquiferi.

I monitoraggi nelle acque di impregnazione nel riporto sono stati limitati a pochissimi punti in quanto si tratta di un "acquifero" non significativo da un punto di vista idrogeologico. Infatti, come già motivato nelle parti metodologiche, l'acqua che impregna localmente il riporto non può essere considerata "una vera e propria falda", almeno alla scala di SIN.

Le 4 campagne mensili hanno permesso di studiare in dettaglio la situazione locale di ogni macroarea, mettendo in evidenza le zone caratterizzate da continuità idrogeologica rispetto ad altre in cui l'andamento piezometrico risultava essere invece influenzato da fattori esterni. Attraverso i monitoraggi è stato inoltre possibile determinare l'influenza sul regime piezometrico dei quattro corpi acquiferi da parte di alcuni fattori sia naturali che antropici, come ad esempio la marea e le precipitazioni, permettendo così di elaborare specifiche carte tematiche che verranno discusse nei paragrafi seguenti.

Sulla base dei dati ottenuti nella fase di monitoraggio sulle 4 aree, si è successivamente passati ad un monitoraggio in continuo dell'intero SIN, utilizzando piezometri che intercettavano i corpi acquiferi delle campagne precedenti in modo da dare continuità ai dati pregressi (Figura 8.5.3.3). Il monitoraggio è iniziato nel mese di maggio '08 e, al momento, è ancora attivo.

Infine, un altro scopo del monitoraggio in continuo della seconda fase è quello di individuare dei piezometri "indice" per i diversi corpi acquiferi allo scopo di realizzare una rete di monitoraggio dell'intero S.I.N. da adottare al termine dello studio per gli anni futuri.

Nei paragrafi successivi si presenteranno alcuni dei diagrammi ottenuti. I dati ed i grafici relativi a tutti i 92 piezometri monitorati sono disponibili in formato .xls, oltre che nella banca dati idrogeologica della provincia.

8.5.4 Analisi dei diagrammi del regime piezometrico

8.5.4.1 Componenti influenti il regime piezometrico

Le oscillazioni della piezometrica misurate nei monitoraggi nella situazione sito-specifica possono essere sia naturali, sia indotte artificialmente.

Va innanzitutto premesso che i piezometri monitorati vanno ad intercettare acquiferi confinati. Fanno eccezione i rari piezometri monitorati nel riporto e alcuni piezometri posti nella parte più a Nord (corpo sabbioso di viale San Marco).

In queste condizioni le variazioni di livello misurate nei piezometri corrispondono ad una variazione di pressione ma non ad un movimento verticale dell'acqua (come avviene in una "falda libera") in quanto la piezometrica è posta al di sopra del tetto dell'acquifero rappresentato dalla base dei litotipi a bassa permeabilità in molti casi coincidenti con il livello barena/caranto. Lo schema seguente schematizza quanto esposto.

L'acqua di impregnazione nel riporto (nei periodo e nei luoghi in cui è presente) si trova normalmente ad una quota superiore a quella della piezometrica della falda.

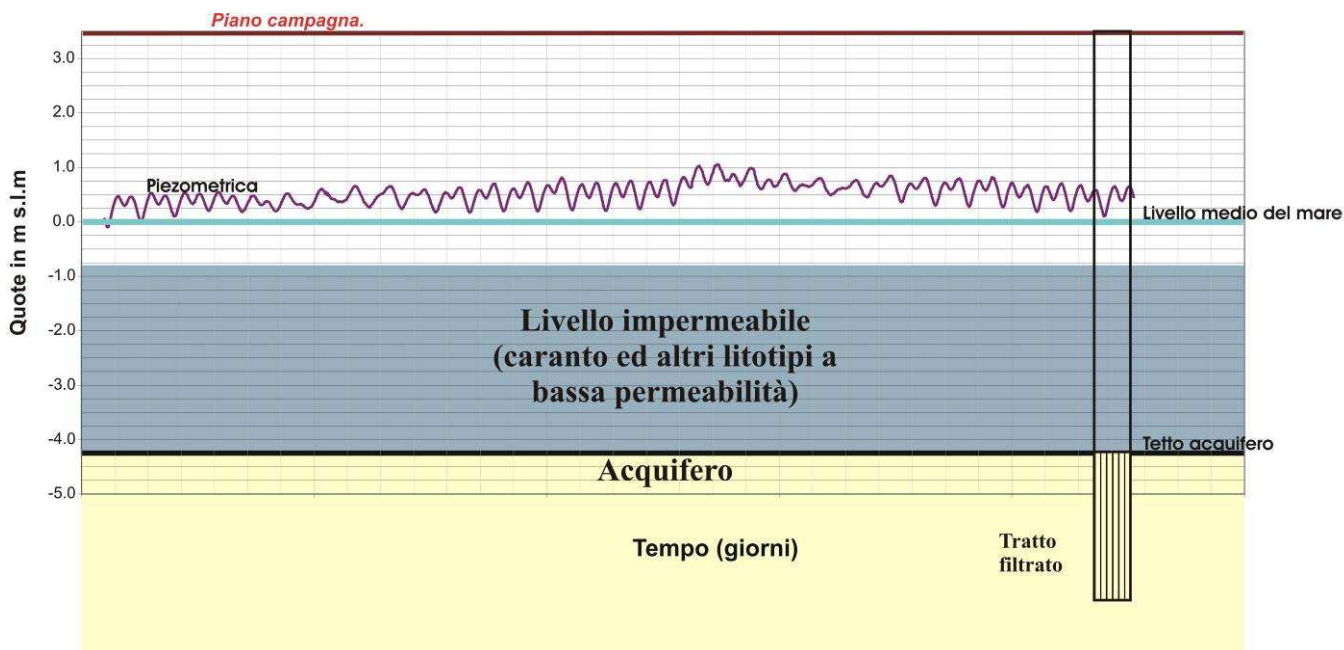


Figura 8.5.4.1.1 - Schematizzazione della situazione idrogeologica in cui si trovano la maggior parte dei piezometri monitorati.

Le principali cause che possono influenzare l'oscillazione della superficie piezometrica che vanno *teoricamente* considerati nell'area di Porto Marghera sono:

- la variazione della pressione atmosferica⁸;
- l'oscillazioni del livello dei canali industriali (marea);
- l'alternarsi dei periodi di ricarica e di svuotamento dell'acquifero (legati ad una ricarica per infiltrazione diretta, una ricarica proveniente dalla zona a monte e dal ruolo dei canali di bonifica dove questi sono a diretto contatto con i corpi acquiferi);
- gli emungimenti;
- le idrovore ed i canali di bonifica.

8.5.4.2 Suddivisione preliminare dei diagrammi piezometrici in funzione delle influenze prevalenti

Dall'analisi dei diagrammi relativi ai 92 piezometri monitorati nel corso della prima fase si possono osservare diverse tipologie di comportamento del sistema acquifero in funzione della prevalenza dei diversi fattori influenti.

La prima fase di analisi dei dati è stata quella di valutare per ciascun piezometro il "comportamento-tipo".

⁸ I sensori di livello utilizzati disponevano di compensazione automatica della pressione esterna. I dati registrati dal sensore di livello delle multiparametrico è stato invece compensato manualmente.

Schematicamente possiamo suddividere i diagrammi piezometrici in 3 categorie:

1. piezometri il cui regime è influenzato in modo preponderante dal regime di marea
2. piezometri il cui regime è influenzato in modo preponderante dal regime pluviometrico
3. piezometri il cui regime è influenzato in modo preponderante da altri fattori.

Tali comportamenti sono individuabili in parti diverse del SIN.

Il grafico di Figura 8.5.4.2.1 riporta l'esempio di un punto in cui il **regime piezometrico è influenzato, pressoché esclusivamente dall'andamento della marea**. Ad ogni picco relativo di marea corrisponde un picco, con un certo ritardo rispetto al primo, del regime piezometrico.

Analizzando nel dettaglio si osserva come i picchi del livello piezometrico registrati nell'intero set di piezometri monitorati presentano un ritardo. Tale ritardo presenta valori molto variabili, da un minimo di 0 ore (**regime piezometrico in "fase"** con quello di marea) ad un valore anche superiore alle 4 ore (**cicli completamente "sfasati"**). Il **fattore principale che determina un ritardo** nella risposta del sistema acquifero sembra essere legato alla **collocazione** o meno dei piezometri **all'interno dei corpi sabbiosi** e quindi alla distribuzione della trasmissività; l'influenza della marea **non sembra invece essere direttamente legata, a scala di SIN, dalla distanza tra i piezometri e i canali industriali**⁹.

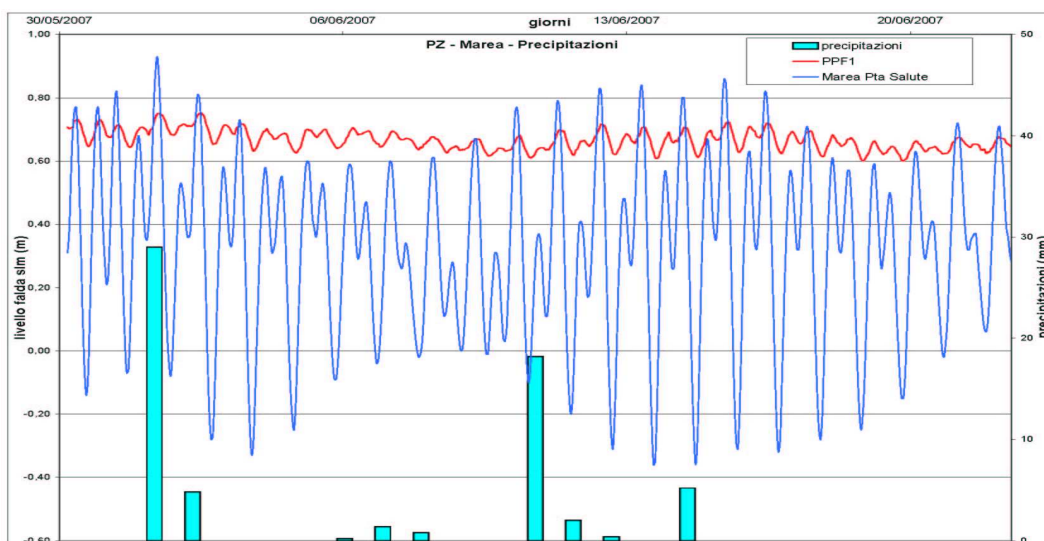


Figura 8.5.4.2.1 -
Regime
influenzato dalla
marea

In Figura 8.5.4.2.2 viene riportato un grafico nel quale si osserva un'influenza molto smorzata del regime della marea nell'andamento piezometrico: il sistema acquifero presenta dei picchi con un certo ritardo rispetto all'andamento della marea ma l'andamento generale assume un andamento "piatto". Analizzando nel dettaglio un ciclo tra un massimo ed il minimo successivo del regime piezometrico e confrontandolo con quello relativo al regime di marea si può osservare come l'ampiezza relativa al primo regime rappresenti solo un'aliquota marginale dell'ampiezza del regime di marea ad indicare un'influenza relativa della marea sul regime piezometrico probabilmente legata a bassi valori di permeabilità.

⁹ Questo aspetto sarà approfondito nei paragrafi successivi.

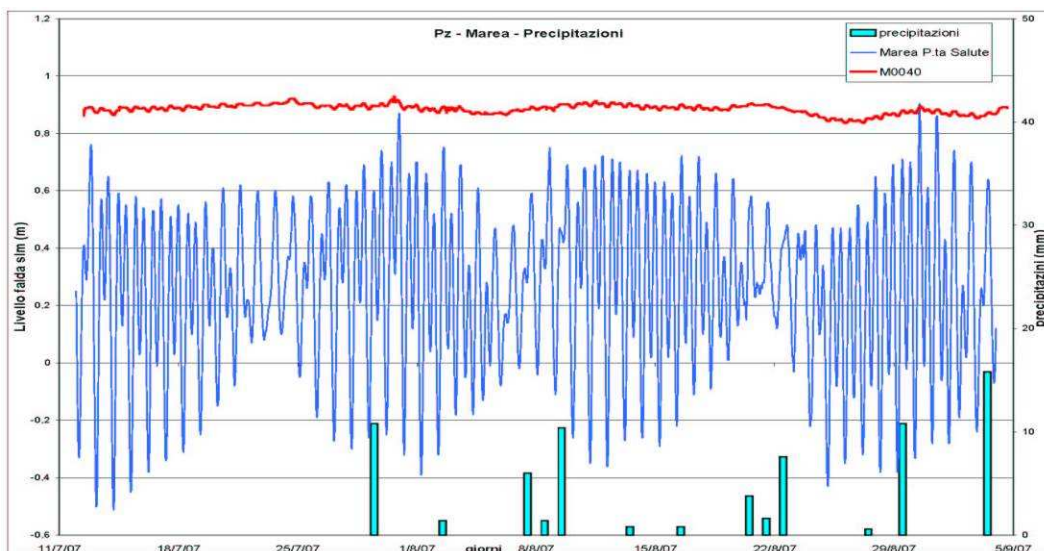


Figura 8.5.4.2.2
Regime
influenzato dalla
marea con
elevato
smorzamento

In altri settori si osserva un **andamento piezometrico** indipendente dal regime di marea e **correlato con il regime delle precipitazioni** (Figura 8.5.4.2.3). Una trattazione dettagliata dell'influenza del regime delle precipitazioni verrà approfondita ampiamente nel paragrafo 8.5.4.4.

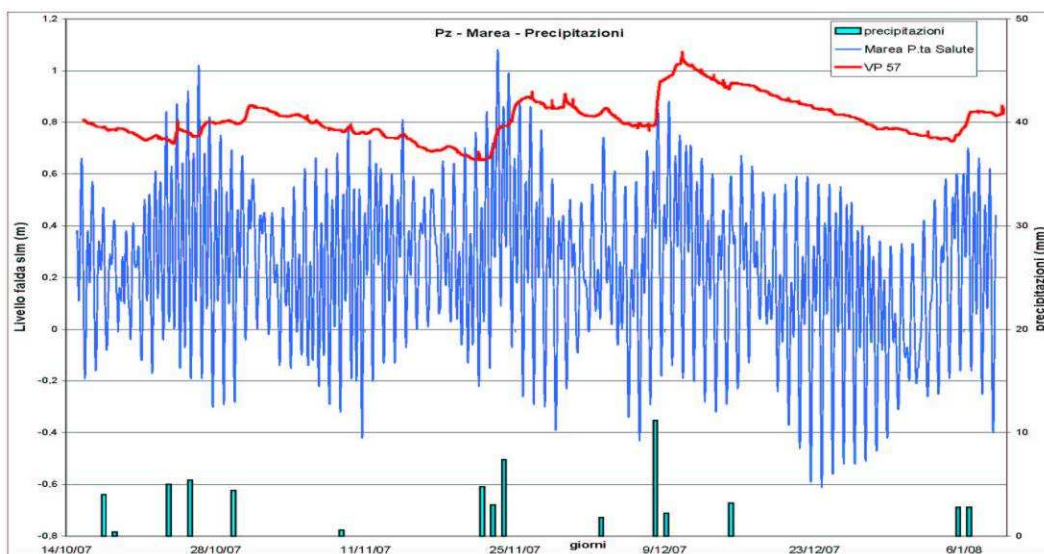


Figura 8.5.4.2.3 -
Regime
influenzato dalle
precipitazioni

8.5.4.3 Piezometri influenzati dal regime di marea – sfasamenti e smorzamenti

In molti diagrammi piezometrici si può osservare che le variazioni di livello della marea inducono oscillazioni della superficie piezometrica. Questo anche se sono presenti opere di conterminazione che impediscono un flusso orizzontale tra i corpi acquiferi e la laguna.

Tale fenomeno è da collegare ad una variazione di pressione indotta dall'oscillazione di marea piuttosto che ad un flusso entrante/uscente lungo i canali industriali e le sponde degli argini¹⁰. Si tratta quindi di un comportamento legato alla trasmissione di un "onda di pressione" a profondità maggiori dei marginamenti.

¹⁰ Dato il carattere d'area dell'indagine idrogeologica in questa parte non si valuta l'effetto a scala locale delle opere di marginamento sugli acquiferi

Per quantificare l'influenza della marea sul regime della falda è stato eseguito un confronto sistematico tra i due regimi in tutti i 92 piezometri monitorati durante le 4 campagne; una distinzione è stata fatta in base alla profondità del tratto fenestrato, prendendo come quota di riferimento -10 m s.l.m.

Sfasamenti

Una prima elaborazione ha determinato i ritardi di fase tra le oscillazioni di marea e la conseguente risposta del sistema acquifero; allo scopo sono stati utilizzati i dati di marea registrati dalla stazione di Punta Salute, ai quali è stato aggiunto un ritardo di 1 ora per tenere conto della distanza tra la stazione di misura e l'area di Porto Marghera. La scelta di aggiungere 1 ora di ritardo non deriva da scelte soggettive ma da un precedente studio condotto in area Vesta che ha dimostrato come i valori di marea in quest'area presentavano un ritardo di un'ora rispetto alla stazione di registrazione ubicata a Venezia.

Dalla elaborazione (Figura 8.5.4.3.1 - Figura 8.5.4.3.2) si evidenziano alcuni aspetti rilevanti:

- anche i piezometri più profondi risentono dell'influenza della marea, con sfasamenti dello stesso ordine di grandezza dei piezometri meno profondi;
- i minori ritardi nello sfasamento tra i due regimi si registrano nei piezometri ubicati all'interno dei corpi acquiferi; tale considerazione mette in evidenza come questi corpi siano oggetto di trasmissione di pressione tra l'entroterra e la laguna;
- i piezometri che non evidenziano alcuna correlazione tra i regimi di marea e degli acquiferi sono ubicati o in zone in cui è limitata la continuità spaziale dei corpi sabbiosi, cioè nelle parte del SIN a minore trasmissività, oppure in coincidenza dei corpi in cui è limitato o assente un collegamento con la laguna.

Smorzamenti

Attraverso l'elaborazione "smorzamenti" (Figura 8.5.4.3.2) si fornisce una quantificazione dell'influenza della marea sul regime piezometrico degli acquiferi.

La cartografia riporta il valore del rapporto (espresso in percentuale) tra l'ampiezza (misurata tra un minimo relativo ed il successivo massimo) in ogni piezometro e l'ampiezza di un ciclo di marea. Anche in questo caso è stata decisa la suddivisione dei piezometri in funzione del tratto fenestrato, prendendo come quota di riferimento -10 m s.l.m.

Come nella precedente elaborazione anche in questo caso si nota come i piezometri maggiormente influenzati dalle oscillazioni di marea risultino ubicati all'interno dei corpi acquiferi; tale comportamento mette in evidenza un maggiore grado di trasmissione della pressione nei corpi.

Si osserva inoltre che piezometri caratterizzati da oscillazioni la cui ampiezza rappresenta una piccola aliquota rispetto all'ampiezza massima di marea sono posizionati principalmente in zone sede di drenaggi artificiali, il cui effetto è quello di annullare o smorzare gli effetti indotti dal regime di marea.

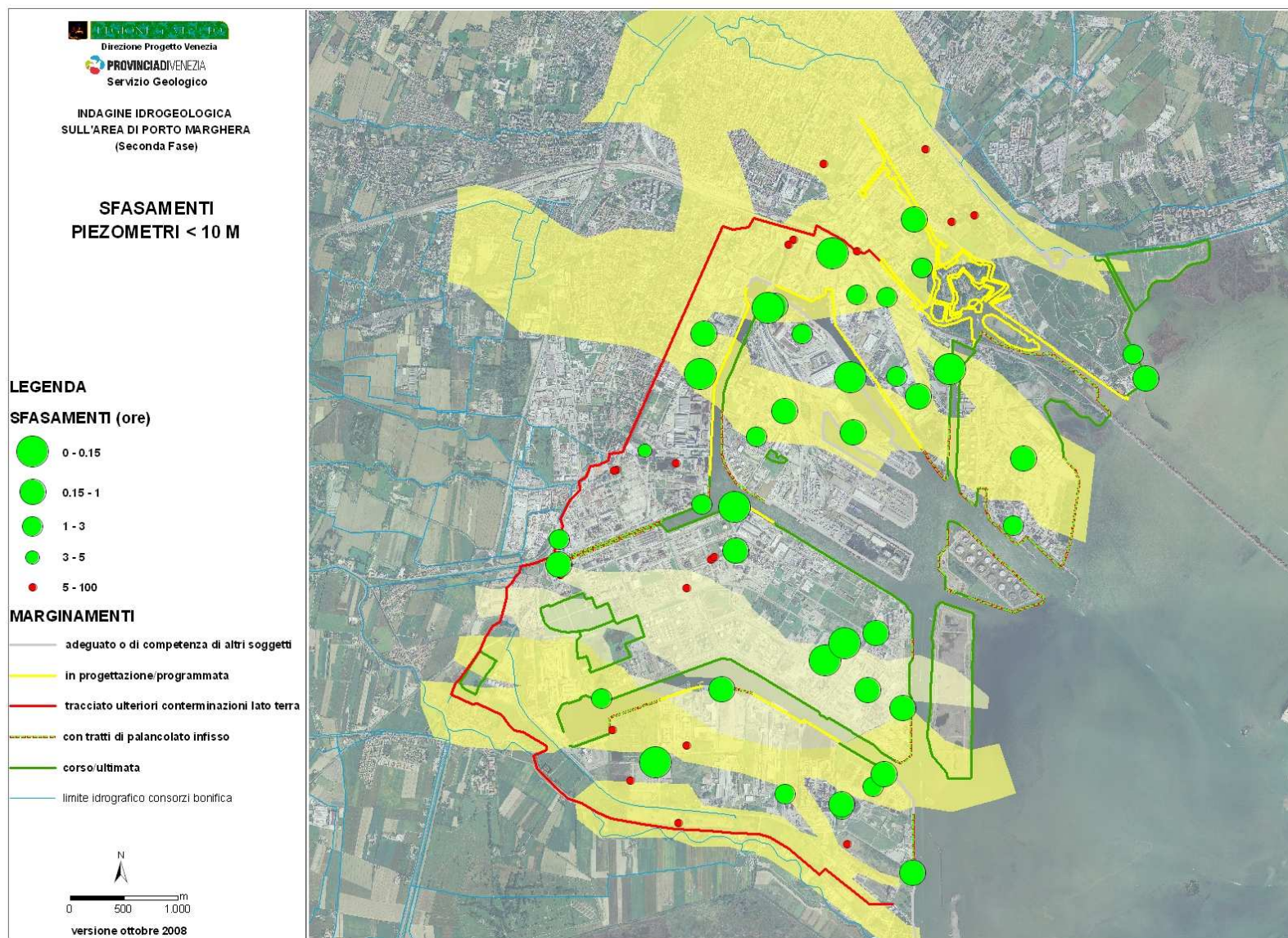


Figura 8.5.4.3.1 – Rappresentazione degli sfasamenti rispetto alla marea per i piezometri filtrati al di sopra dei 10 m s.l.m.

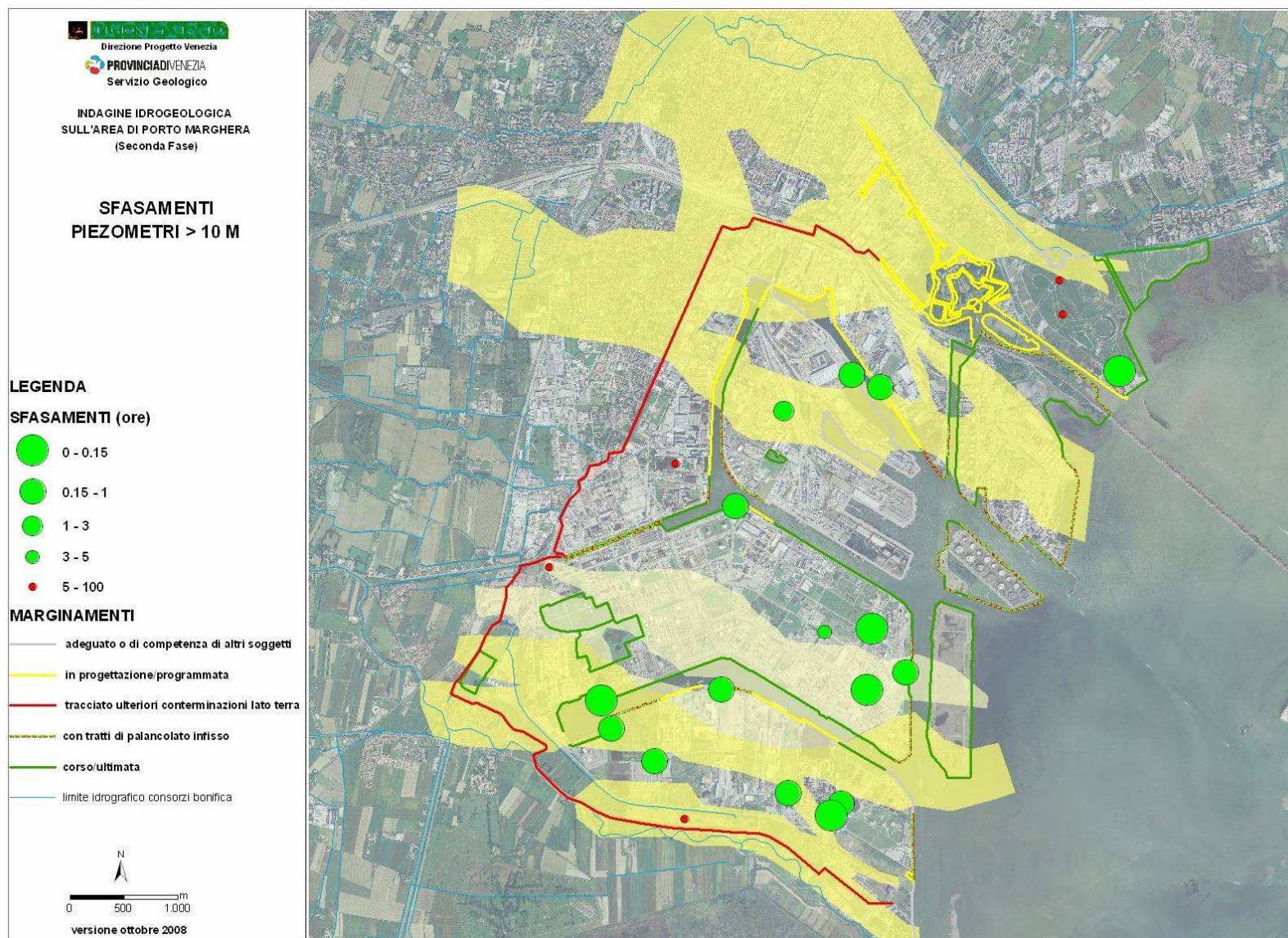


Figura 8.5.4.3.2 – Rappresentazione degli sfasamenti rispetto alla marea per i piezometri filtrati al di sotto dei 10 m s.l.m.

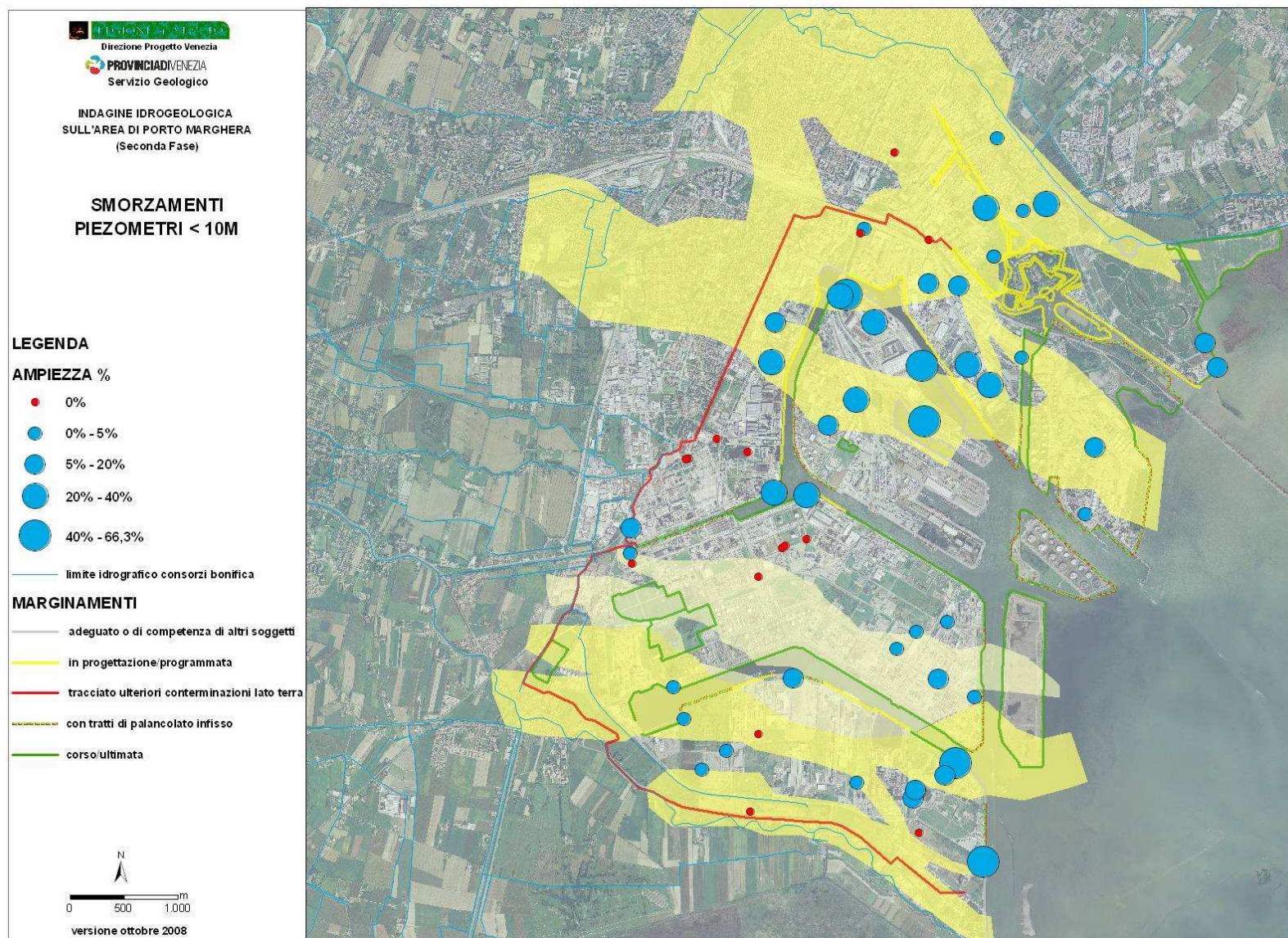


Figura 8.5.4.3.3 – Rappresentazione degli smorzamenti rispetto alla marea per i piezometri filtrati al di sopra dei 10 m s.l.m.

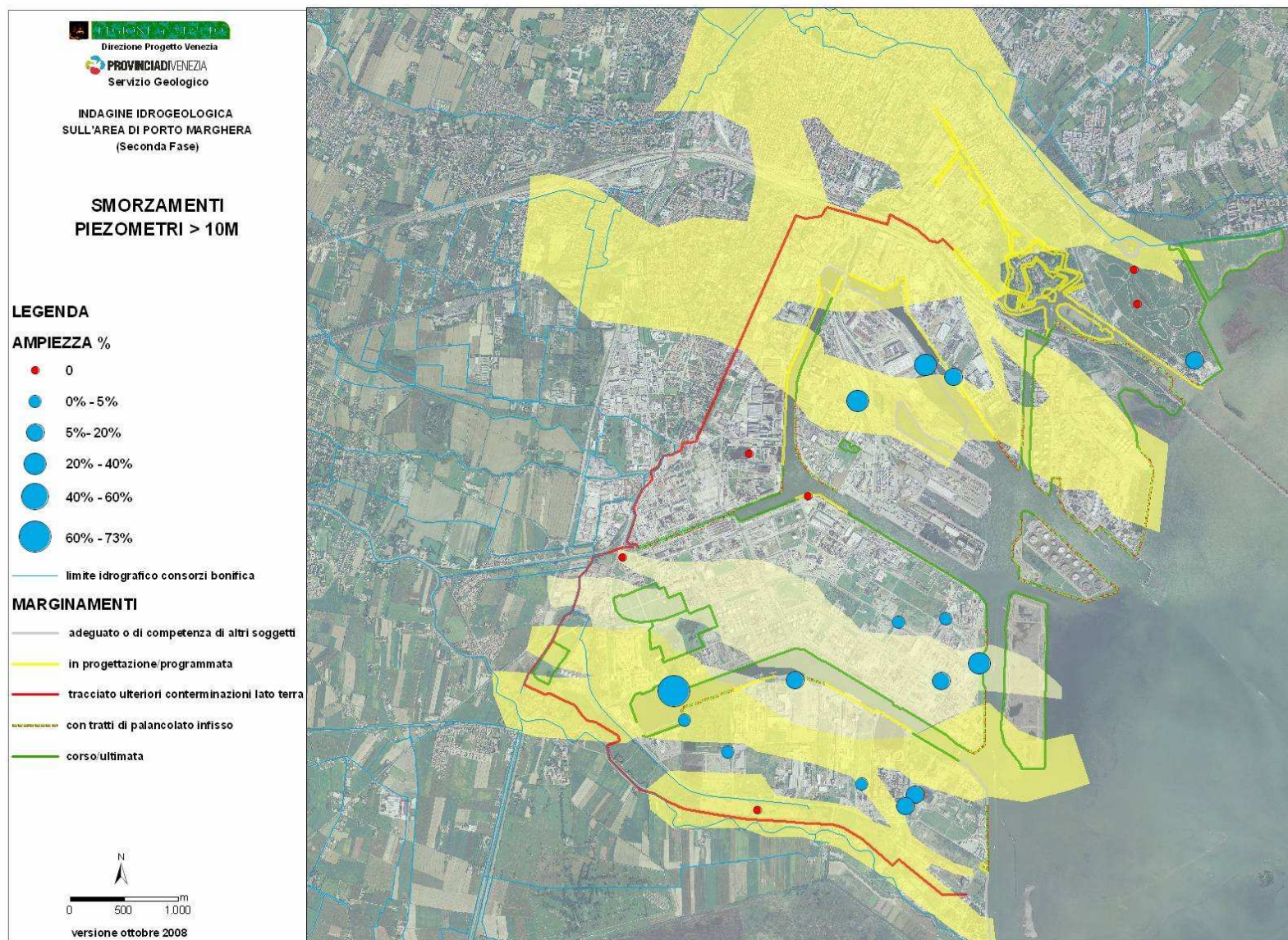


Figura 8.5.4.3.4 – Rappresentazione degli smorzamenti rispetto alla marea per i piezometri filtrati al di sotto dei 10 m s.l.m.

8.5.4.4 Confronto con il regime pluviometrico

Nel regime piezometrico è possibile osservare una serie di fluttuazioni strettamente collegate all'andamento degli eventi meteorici. La relazione tra l'andamento e l'ammontare delle precipitazioni e le conseguenti oscillazioni dei livelli piezometrici evidenzia gli eventuali ritardi con i quali la superficie piezometrica risente dell'evento di pioggia. L'entità di tali ritardi dipende dallo spessore dei terreni interessati dalla percolazione e dalle loro caratteristiche di permeabilità; l'entità delle oscillazioni della superficie piezometrica in funzione della quantità d'acqua precipitata e della corrispondente aliquota di infiltrazione dipende essenzialmente dalla porosità del terreno. Va ricordato che la maggior parte dei piezometri monitorati sono fenestrati in acquifero confinato e quindi l'influenza del regime pluviometrico sul regime piezometrico non può essere interpretato come infiltrazione diretta sulla verticale del piezometro.

Allo scopo di quantificare l'effetto delle precipitazioni sul regime piezometrico sono stati considerati quattro eventi piovosi rilevanti, le cui caratteristiche sono riportate in tabella.

Precipitazione	Δh (mm)
18/05/2008	75,4
04/06/2008 – 05/06/2008	49,2
17/06/2008	32,4
06/07/2008	41,4

Per ogni evento meteorico è stata valutata la risposta del sistema acquifero in ogni piezometro, determinando l'innalzamento della falda ed il ritardo con cui questo avveniva (Figura 8.5.4.4.1).

Dall'analisi dei risultati ottenuti si nota come gli innalzamenti della superficie piezometrica più rilevanti si osservano nella zona settentrionale, lungo il corpo acquifero San Marco; in coincidenza di tali massimi innalzamenti si osservano ritardi minimi con i quali la superficie piezometrica risente dell'evento di pioggia rispetto agli altri corpi acquiferi. La spiegazione è da ricercarsi nelle caratteristiche uniche del corpo di viale San Marco: tale acquifero presenta quote del tetto poco profonde rispetto al piano campagna, tali da rendere minimo lo spessore del terreno insaturo, riducendo così il tempo di percorrenza delle particelle acquose e rendendo più rapida l'infiltrazione efficace.

Un'altra spiegazione può essere ricercata nei valori di trasmissività relativamente superiori per la zona interessata dall'acquifero di viale San Marco rispetto agli altri corpi acquiferi. Questo aumento di trasmissività in prima approssimazione può rendere più rapida la risposta del sistema all'evento meteorico.

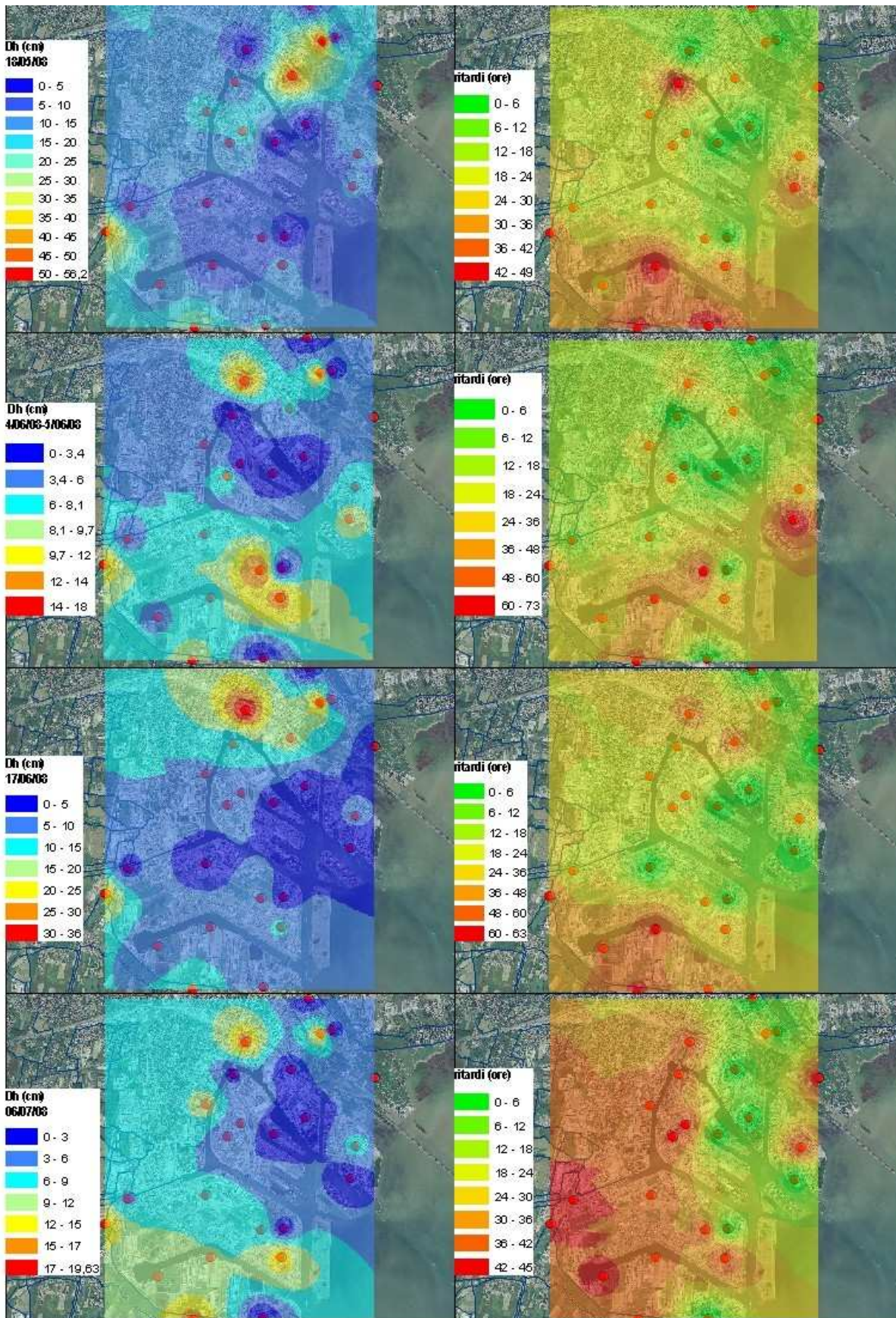


Figura 8.5.4.4.1 - Risposta del sistema acquifero agli eventi meteorici; nella parte sinistra, è rappresentata l'interpolazione degli innalzamenti della superficie piezometrica in conseguenza dell'evento piovoso considerato; nella parte destra l'interpolazione dei ritardi con cui il sistema acquifero risponde agli eventi meteorici.

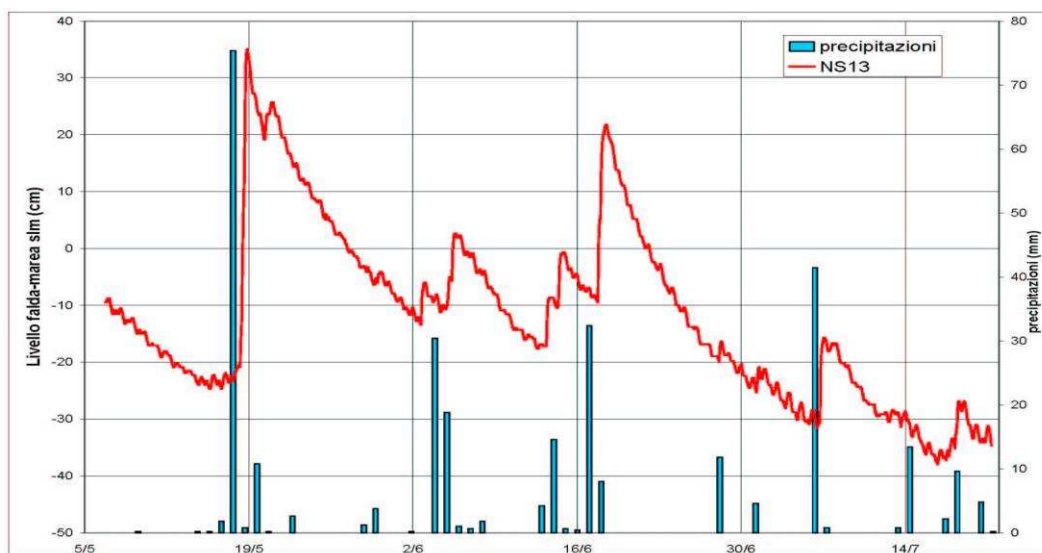
Un altro approccio sistematico che può consentire di ricavare informazioni sull'acquifero a partire da due eventi pluviometrici significativi è quello di considerare le curve di esaurimento generalmente utilizzate nello studio delle sorgenti.

Si tratta di una elaborazione svolta in maniera sperimentale, messa a punto al fine di approfondire il comportamento dell'acquifero.

La curva di esaurimento esprime la variazione della portata di una sorgente dovuta unicamente allo svuotamento dell'acquifero in assenza di apporti meteorici. Essa esprime graficamente l'espressione esponenziale proposta da Maillet:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

Analogamente allo studio delle sorgenti l'approccio di Maillet è stato applicato anche ai corpi acquiferi di Porto Marghera (Figura 8.5.4.4.2).



**Figura 8.5.4.4.2 -
Curva di
svuotamento
registrata nel
piezometro NS13
del corpo San
Marco**

Dalla curva di svuotamento che segue un evento meteorico rilevante si può definire l'inizio e la fine del periodo di esaurimento, coincidenti con il carico idraulico massimo e con il minimo registrato dopo un tempo t , durante il quale il carico idraulico diminuisce progressivamente. Essendo l'espressione di Maillet di tipo esponenziale, i punti corrispondenti ai valori di carico idraulico misurati ad intervalli regolari durante il periodo di esaurimento e riportati in un diagramma semilogaritmico con il tempo, saranno interpolati da una retta, la cui pendenza consente di calcolare il coefficiente di esaurimento α (Figura 8.5.4.3). Il coefficiente in questo caso, più che definire un valore assoluto riferito ad un bacino come nel caso di una sorgente, permette un confronto del comportamento delle aree monitorate dai diversi piezometri.

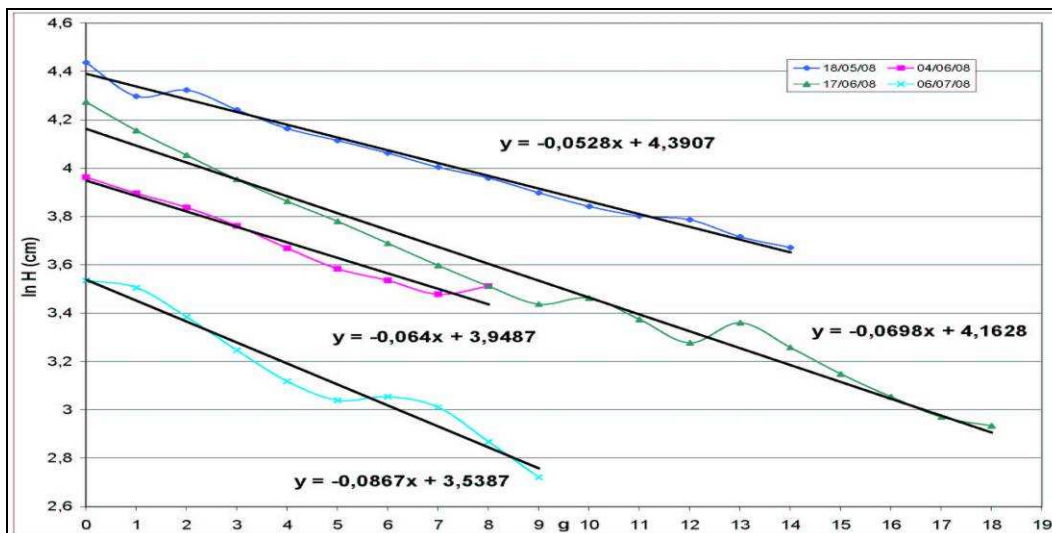


Figura 8.5.4.4.3 -
Diagramma
semilogaritmico
del piezometro
NS13 del corpo
San Marco

I valori del coefficiente di esaurimento così ottenuti mostrano un ristretto range di variabilità, con una tendenza generale verso valori bassi di pendenza delle rette costruite sui diagrammi semilogaritmici per ognuno dei 20 piezometri utilizzati nella seconda fase del monitoraggio. Al fine di ottenere una rappresentazione reale dello svuotamento dell'acquifero si è determinato lo "svuotamento specifico" S_s (cm), definito dal prodotto del coefficiente di esaurimento α per la variazione del carico idraulico relativo alla singola curva di svuotamento. Tale prodotto definisce in modo univoco il comportamento del mezzo acquifero in relazione ad un evento di ricarica (proveniente dalla zona a monte o per infiltrazione diretta) (Figura 8.5.4.4.4).

18/05/08	α	Δ	S_s		04/06/08	α	Δ	
APV	0,018	17,6	0,32		APV	0,034	15,3	0,52
AZO_07	0,031	12,9	0,39		AZO_07	0,027	12,1	0,33
ENEL	0,013	13,3	0,18		ENEL			
M0059	0,011	7,6	0,08		M0059	0,019	9,0	0,17
M0133	0,018	11,4	0,20		M0133	0,016	5,9	0,09
M0135	0,016	11,0	0,18		M0135	0,063	15,2	0,95
M2007	0,021	13,8	0,28		M2007	0,035	14,6	0,51
M2008	0,012	7,7	0,10		M2008	0,017	7,7	0,13
MOB_Pb9	0,016	18,1	0,29		MOB_Pb9	0,031	6,9	0,22
NS13	0,053	45,2	2,39		NS13	0,064	19,1	1,22
PA	0,033	36,1	1,19		PA	0,057	21,9	1,25
PF4	0,034	18,9	0,64		PF4	0,038	12,9	0,49
PSF1	0,010	10,4	0,11		PSF1	0,016	7,5	0,12
Pz63	0,020	9,0	0,18		Pz63	0,012	6,4	0,08
Pz64	0,016	9,0	0,15		Pz64	0,018	7,6	0,14
PZ7					PZ7	0,014	20,3	0,27
Pz9_Edilgr	0,041	27,2	1,12		Pz9_Edilgr	0,042	13,6	0,57
PZE1-P	0,002	3,5	0,01		PZE1-P	0,016	10,3	0,16
S9	0,012	28,4	0,34		S9	0,009	16,4	0,15
SGPP2	0,010	9,7	0,10		SGPP2	0,013	9,0	0,12

Figura 8.5.4.4.4 -
Valori di S_s
relativo alle
precipitazioni del
18/05/2008 e del
04/06/2008.

I risultati così ottenuti (Figura 8.5.4.4.5) mettono in evidenza come, per ogni evento meteorico rilevante, i valori più elevati di S_s siano riscontrati all'interno del corpo acquifero di viale San Marco, ad indicare una

maggior influenza del regime pluviometrico sul regime piezometrico rispetto agli altri corpi dell'area di Porto Marghera.

Questi risultati dimostrano come il corpo acquifero di viale San Marco si differenzi notevolmente dai corpi dell'Isola Portuale, di Fusina e di Malcontenta. Ciò in parte per i valori di permeabilità ma soprattutto per la debole profondità del tetto dell'acquifero e dello spessore dell'insaturo.

Un altro settore in cui il regime piezometrico risulta influenzato dagli eventi meteorici è quello ubicato a monte del Nuovo Petrolchimico. Tale influenza è dovuta principalmente a due fattori:

- al notevole spessore del corpo;
- alla debole profondità del tetto del corpo acquifero di Malcontenta in questa porzione, che presenta valori mediamente minori rispetto alle altre parti, anche molto profonde.

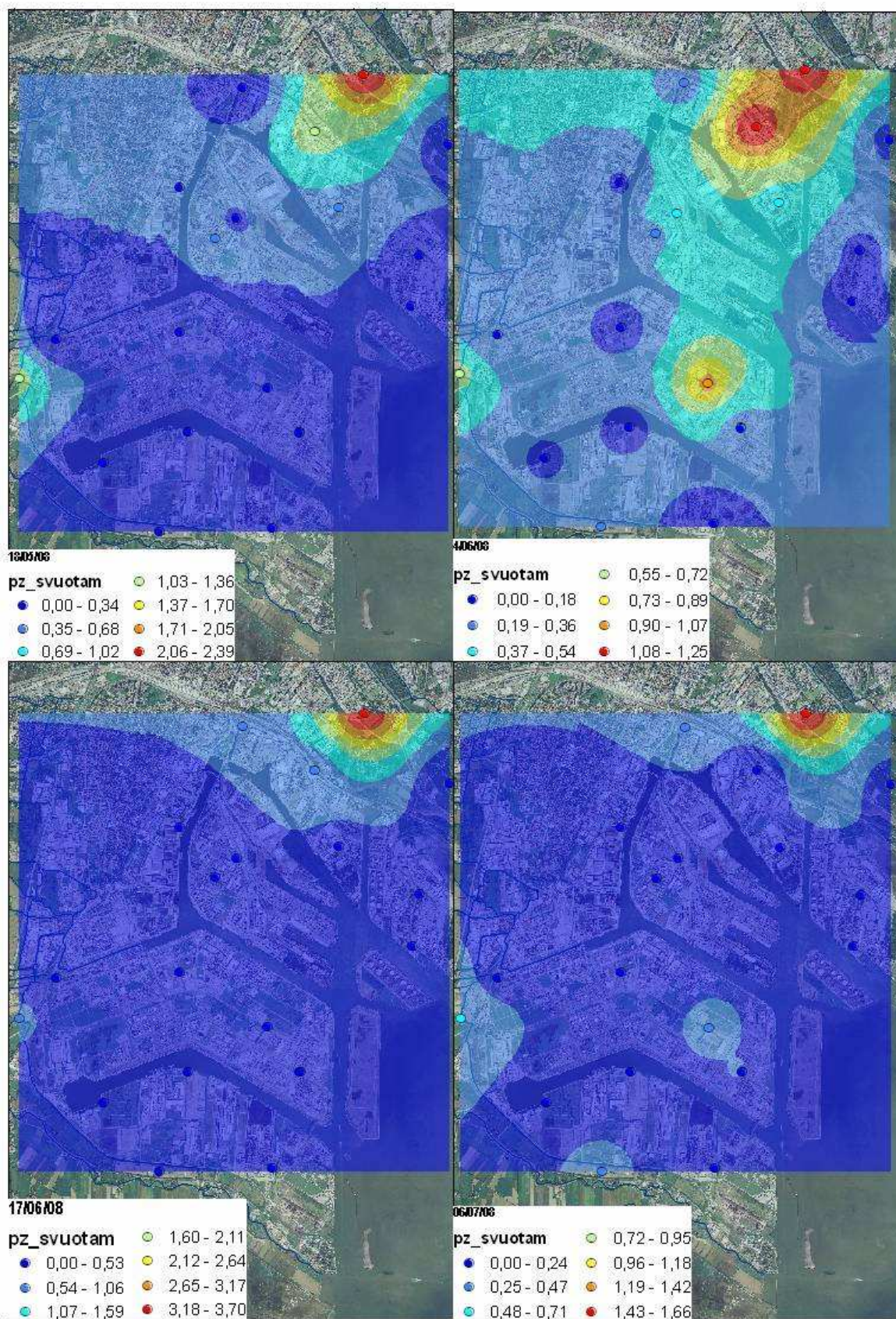


Figura 8.5.4.4.5 - Tavola "svuotamenti". Interpolazione dei valori di "Svuotamento Specifico" S_s

8.5.4.5 Opere di Bonifica idraulica

La marea e le precipitazioni rientrano tra le componenti “natural” che influenzano il regime piezometrico. Esistono tuttavia delle componenti antropiche che possono interferire con il regolare deflusso delle acque sotterranee verso la laguna. Queste sono:

- il reticolo dei canali di bonifica;
- le idrovore.

L'influenza dei canali di bonifica è quantificabile in funzione di vari parametri ed in particolare alla distribuzione della litologia e quindi della permeabilità. Ragionevolmente si può affermare che esso interferisce con la superficie piezometrica solamente in alcune aree ben definite, ovvero nell'immediato intorno delle idrovore e della rete di bonifica ad essa collegata¹¹; i canali presentano quote del letto che non superano i -3/-5m s.l.m. e quindi al di sopra del tetto del primo acquifero, così come cartografato nella tavole del paragrafo 7.8.2.

La possibilità che si abbia una interconnessione è quindi limitata ai corpi acquiferi sub-superficiali. Acquiferi più profondi possono essere influenzati solo se non confinati o se i canali della rete di bonifica intercettano i livelli al di sotto del tetto dell'acquifero.

Da un'analisi delle sequenze idro-stratigrafiche (paragrafo 8.3) si evince che il corpo di viale San Marco presenta tali caratteristiche. In quest'area di Porto Marghera è possibile riscontrare la presenza di un corpo sabbioso superficiale ed un'assenza del tetto impermeabile. Tali caratteristiche permettono quindi la significatività dei contatti idraulici tra i canali di bonifica ed il corpo acquifero di San Marco.

Situazione diversa si riscontra nella parte meridionale del SIN dove i 3 corpi acquiferi principali sono caratterizzati quasi ovunque dalla presenza di un tetto impermeabile che interrompe il contatto idraulico con i canali di bonifica.

Si riporta a titolo di esempio il regime piezometrico su due punti¹² ubicati nelle immediate vicinanze di un canale di bonifica (Figura 8.5.4.5.1) – uno superficiale, presso il vecchio impianto di depurazione della “Rana” e l'altro più profondo, vicino alla San Marco Petroli. Si può notare come, mentre il piezometro superficiale (rosso), filtrato in corrispondenza di un livello sabbioso superficiale che costituisce un acquifero freatico “locale”, risente del regime del canale influenzato dall'impianto idrovoro; il piezometro (blu), intercettante il corpo acquifero più profondo, presenta invece un regime indipendente dal regime del canale superficiale, in quanto l'acquifero è confinato al di sotto del livello del canale.

¹¹ L'area propriamente industriale non è soggetta a bonifica idraulica.

¹² Dati messi a disposizione dal MAV.

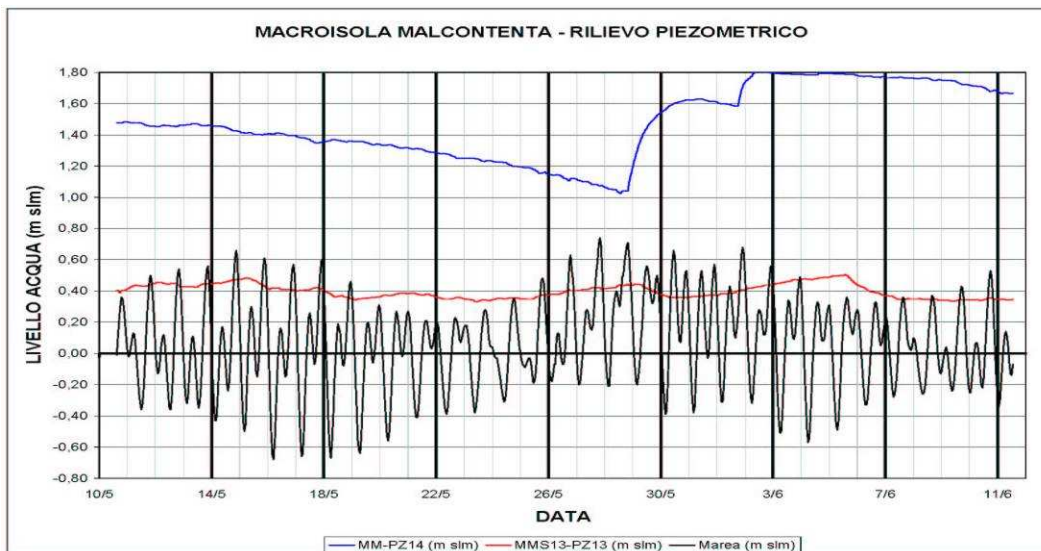


Figura 8.5.4.5.1. – Influenza dei canali di bonifica (presente sull'acquifero freatico ed assente su quello confinato).

8.5.4.6 INTERFERENZE CON ALTRE COMPONENTI ANTROPICHE – Strutture potenzialmente influenti

Per la ricostruzione del quadro idrogeologico dell'area del Sito di Interesse Nazionale di Porto Marghera, è indispensabile individuare le principali cause di alterazione delle piezometriche e dell'andamento di deflusso delle falde superficiali.

E' evidente che, all'interno del Sito, esistono molteplici attività che tendono ad interferire con il regime piezometrico ed il moto delle falde rendendo estremamente complessa la ricostruzione dell'andamento delle isopieze e la determinazione delle direzioni e delle portate di deflusso.

Tali attività si possono ricondurre a tre principali tipologie:

- presenza di infrastrutture interrato: sottoservizi, fondazioni profonde, diaframmi plastici, palancolati;
- prelievi di acqua dal sottosuolo: attività di messa in sicurezza ambientale della falda, concessioni di prelievo da pozzi artesiani profondi;
- drenaggi: in relazione ad opere e a sistemi di Messa in Sicurezza d'Emergenza.

Al fine di semplificare il nostro sistema è possibile, fin da subito, eliminare due fattori. Il primo riguarda l'influenza derivante dallo sfruttamento di pozzi artesiani i quali, a partire dagli anni '70, a seguito dell'acuirsi dei fenomeni di subsidenza nell'area di Porto Marghera, vennero in buona parte sigillati e sostituiti dall'acquedotto industriale che preleva acque superficiali dal Fiume Sile. Attualmente viene ipotizzato il fenomeno contrario, ossia l'alimentazione delle falde superficiali da parte degli acquiferi più profondi attraverso le intercapedini dei pozzi che provoca l'innalzamento della superficie piezometrica (Magistrato alle Acque – aprile 2007).

Il secondo riguarda invece l'alterazione dovuta alla presenza di strutture interrato quali pali di fondazione, cavidotti, locali interrati, oleodotti e tubazioni in genere la cui ubicazione e dimensione è impossibile da determinare ed il cui effetto si ritiene poco significativo.

Pertanto, le maggiori cause di alterazione delle piezometriche e del campo di moto della falda superficiale, si riducono a:

1. palancolati e diaframmi plastici realizzati come interventi di difesa spondale e/o per la messa in sicurezza permanente nell'ambito di interventi di risanamento ambientale;
2. emungimenti attivati nell'ambito delle misure di messa in sicurezza ambientale della falda.

8.5.4.7 Opere di marginamento dei canali industriali

Breve cronistoria dell'intervento di marginamento

Si riportano brevemente la cronistoria e, nei paragrafi successivi, le caratteristiche dei marginamenti. Non è oggetto del presente paragrafo valutare, tali opere, in relazione alla indagine idrogeologica.

Le opere di marginamento delle sponde dei canali industriali di Porto Marghera vengono avviate nel 1995 dal Magistrato alle Acque di Venezia attraverso il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova. Tali opere sono finalizzate all'arresto e all'inversione dei processi di degrado dell'ambiente lagunare secondo quanto previsto dal "*Piano generale degli interventi di salvaguardia di Venezia e della sua laguna*" del settembre 1993, approvato dal Parlamento (art. 3, lettera 1 della legge 139/1992) (da Master Plan per la bonifica dei siti inquinati di Porto Marghera – rev. giugno 2004).

La scelta progettuale del confinamento dei canali industriali mediante barriere impermeabili, venne introdotta nelle "*Schede per il coordinamento degli interventi di salvaguardia ambientale*" prodotte nell'autunno del 1995, dove, oltre ai marginamenti si prevede, in linea con i contenuti del Piano degli interventi di salvaguardia del 1993, l'asportazione di sedimenti inquinanti dai canali e la copertura di quelli compresi tra Venezia e Porto Marghera.

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare approva il programma di interventi per la sistemazione di tutte le sponde dei canali di Porto Marghera presentato dal Magistrato alle Acque in data 11/09/1996.

In data 12/02/1999, con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, viene approvato l'Accordo di Programma sulla Chimica a Porto Marghera (AdPCPM) sottoscritto in data 21 ottobre 1998. Esso prevede, al punto 3.1.a che il Magistrato alle Acque e l'Autorità Portuale di Venezia "*provvedano alle preliminari e necessarie opere di conterminazione dei siti, eventualmente integrandole con le opere di banchinamento. Gli stessi soggetti provvederanno a ripetere quanto anticipato presso le Aziende che risultassero, in sede giurisdizionale o transattiva, responsabile dell'inquinamento*".

Nel frattempo si assiste ad un rinnovamento normativo particolarmente incisivo attraverso l'introduzione, nel panorama legislativo nazionale, del D.Lgs 152/1999, "*Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*", e del Decreto Ministeriale 471/1999 "*Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'art. 17 del D.Lgs 5 febbraio 1997, n.22 e successive modifiche e integrazioni*".

Il successivo Atto integrativo all'Accordo di Programma sulla Chimica di Porto Marghera del 15/12/2000, prevede la redazione di un "*Master Plan per la bonifica dei siti inquinati a Porto Marghera*" che rappresenta uno strumento per l'individuazione e la pianificazione degli interventi di risanamento ambientale dell'area industriale di Porto Marghera. I lavori di stesura del Master Plan vengono avviati dalla Regione Veneto con deliberazione della Giunta Regionale n. 2386 del 14/09/2001 ed il documento finale verrà approvato con deliberazione n.1 del 22/04/2004 dalla Conferenza di Servizi Decisoria.

Tale documento stabilisce che:

“Gli interventi che prevedono la conterminazione della sponde dei canali industriali devono in particolare fronteggiare due problemi principali:

- i terreni inquinati su cui insistono gli insediamenti industriali si prestano ad essere gradualmente erosi a partire dalle sponde sotto l'azione degli agenti atmosferici e dell'idrodinamica, sia naturale sia indotta dal densissimo traffico navale che percorre i canali industriali;*
- il rilascio di eluati inquinati nelle acque dei canali come conseguenza del run-off superficiale e del moto di filtrazione delle falde attraverso i terreni assume valori significativi vista l'assenza di protezioni perimetrali idonee.*

Il primo problema comporta infatti l'instabilità della sponda ed il suo progressivo arretramento con conseguenze anche al di là di quelle prettamente ambientali (si pensi ad esempio all'interrimento dei canali e alla riduzione della fruibilità delle fasce perimetrali).

I due problemi possono dunque essere ricondotti ad ambiti prevalentemente strutturali in un caso ed evidentemente idraulici/idrogeologici nell'altro. Conterminare le sponde dei canali industriali di Porto Marghera costituisce una soluzione per ovviare ai problemi relativi alle sponde, ma anche per rendere efficaci e duraturi gli altri interventi attivati in parallelo sulla laguna veneta, come le operazioni di dragaggio, il controllo dei rilasci fognari, il monitoraggio dell'intero bacino scolante, nonché gli interventi di ripristino ambientale ed architettonico.” (da Master Plan appendice 1 – vol II)

Dimensione e tipologie dei marginamenti

La completa attuazione delle opere di confinamento di competenza del Magistrato alle Acque, nell'area del Sito di Interesse Nazionale di Porto Marghera, si divide in due fasi. Nella prima fase rientrano le principali attività di marginamento dei canali industriali, mentre nella seconda, ricadono gli interventi volti ad aumentare, ove necessario, le prestazioni e l'efficacia delle opere di confinamento già esistenti. La seconda fase considera quindi interventi complementari e comunque successivi al completamento dei principali marginamenti delle sponde dei canali lagunari.

Tra questi:

- eventuale impermeabilizzazione di alcuni tratti delle banchine esistenti;
- marginamento della sponda nord-est del Canal Salso;
- eventuale marginamento della sponda nord del fossato del Forte Marghera;
- marginamento della sponda nord del Canale San Giuliano;
- eventuale realizzazione di barriere trivellate (passive) e/o idrauliche (attive) ad integrazione dei marginamenti del Canal Salso (sponde sud-ovest ed ovest);
- eventuale connessione tra gli interventi di messa in sicurezza delle macroisole S. Giuliano e delle Raffinerie (attraversamento Canale San Giuliano);
- eventuale connessione tra gli interventi di messa in sicurezza delle macroisole di S. Giuliano e di Campalto (attraversamento Canale delle Rotte);

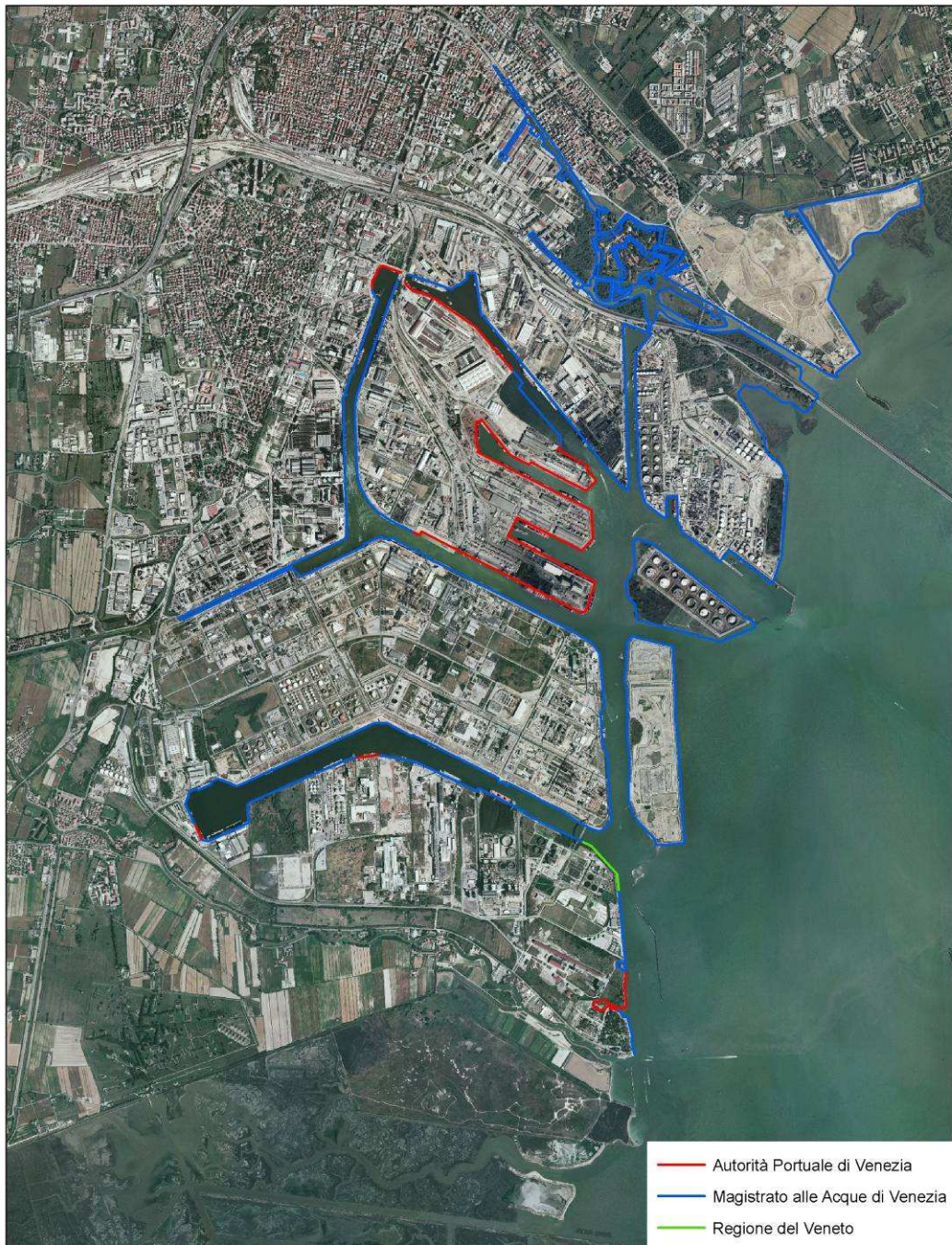


Figura 8.5.4.7.2.1 - Competenze degli interventi di marginamento

- penisola di San Giuliano – Integrazione marginamento esistente con opere di controllo di immissione acque di falda profonde;
- caratterizzazioni, indagini, rilievi, modelli, prove e verifiche sperimentali a supporto delle progettazioni esecutive;
- gestione e manutenzione del sistema di captazione e recapito a depurazione delle acque di drenaggio dai marginamenti, compresi gli oneri di trattamento (circa 60-70 l/s complessivamente);

- rimozione materiali inquinati dalle scarpate antistanti i marginamenti, da coordinare con i dragaggi dei canali al piede delle nuove banchine portuali;
- sistema di alimentazione energetica, supervisione e controllo degli apparati elettromeccanici di gestione delle acque di drenaggio captate dai marginamenti, in sinergia con i sistemi del Progetto Integrato Fusina;
- realizzazione del sistema di monitoraggio della prima falda in pressione nelle macroisole cinturate ed attuazione degli eventuali conseguenti interventi di controllo dei livelli e delle pressioni della falda, compreso trattamento delle acque emunte durante la fase pilota di messa a punto;
- interventi di riqualificazione paesaggistica;
- scavo del canale Lusore-Brentelle e dei canali Salso, Cieco e San Giuliano.

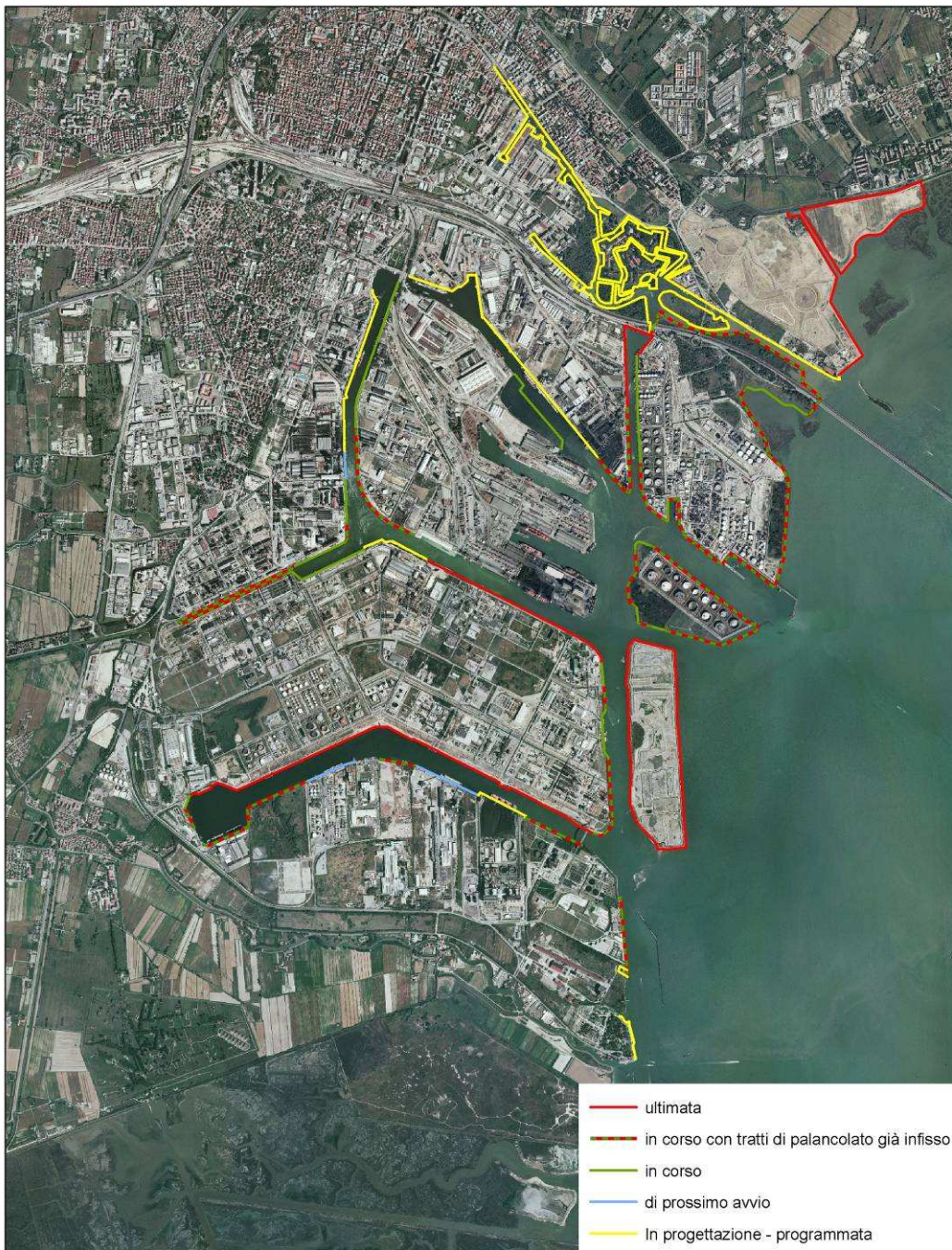


Figura 8.5.4.7.2.2 -
Stato di avanzamento delle
opere di marginamento

Gli interventi di prima fase, di competenza del Magistrato alle Acque di Venezia, prevedono il marginamento di **45440 m** di sponde dei quali, secondo l'ultimo Stato avanzamento lavori del 30 giugno 2008, **36205 m** sono realizzati, in corso di realizzazione o comunque di prossimo avvio, mentre i rimanenti 9235 m sono attualmente in fase di progettazione.

Compete all'Autorità Portuale di Venezia il completamento di **7624 m** di marginamento dell'isola portuale, del tratto di sponda dell'area Alumix a Fusina di lunghezza pari a **816 m**, di una parte della darsena del canale industriale ovest di **273 m**, dell'affaccio sul canale industriale dell'area di proprietà delle Guardie ai fuochi di **138 m** e del tratto relativo all'area Veritas – trattamento RSU di Fusina della lunghezza di **184 m**. Ricade invece in capo alla Regione Veneto il marginamento della sponda dell'area del depuratore di Fusina della lunghezza di **525 m** (Figura 8.5.4.7.2.2).

Complessivamente quindi, i marginamenti di prima fase del MAV e quelli di competenza di altri soggetti sono di **55000 m**, mentre, considerando anche le opere di seconda fase, l'estensione è di circa **70 Km**.

Come descritto nei precedenti paragrafi, lo scopo principale dei marginamenti è, da un lato, impedire l'erosione delle sponde, dall'altro interrompere il flusso di acqua contaminata che dalle falde superficiali (impregnazione del riporto e prima falda) si riversa in laguna. A tale scopo, le opere di marginamento, sia quelle di prima fase che eventualmente di seconda fase sono costituite da:

- un palancolato metallico approfondito fino ad intercettare la prima falda ed intestato nel livello impermeabile sottostante, dotato di una guarnizione a tenuta idraulica all'interno del gargame;
- un cordolo sommitale in cemento armato collegante la testa delle palancole e di altezza pari allo spessore di riporto misti a rifiuti costituente la principale fonte di inquinamenti disponibile per l'ambiente;
- un sistema di drenaggio, raccolta e collettamento delle acque meteoriche e/o delle acque della falda superficiale in modo da mantenere invariato il regime piezometrico della fascia spondale.

Limitatamente ad alcuni tratti spondali ed ai soli fini strutturali, le opere di marginamento possono comprendere la realizzazione di tiranti in modo da contrastare la spinta dovuta a sovraccarichi nelle banchine destinante allo scarico e alla movimentazione di merci.

Meritano una descrizione a parte le opere di competenza dell'Autorità Portuale in quanto consistono in interventi di risistemazione di opere di fondazione già esistenti ritenute idonee o nel rifacimento di quelle non conformi.

Le banchine presenti nel Porto Commerciale di Marghera si dividono due categorie:

- opere a parete verticale: muri a massi, muri a cassoni e muri a diaframmi
- opere a giorno.

Le Opere ritenute conformi in applicazione delle verifiche previste dalla "Fase 1 - Modalità di verifica della tenuta idraulica delle banchine esistenti" sono:

Banchina Romagna - Banchina "a giorno" con diaframma in c.a.

L'opera di accosto è costituita da un impalcato orizzontale in c.a., sostenuto da più ordini di pali a grande diametro. Rispetto alla tipologia "a giorno" propriamente detta, nelle opere in questione l'ultimo ordine di pali è sostituito da un diaframma a "T" in cemento armato avente sia la funzione di assorbire le forze orizzontali che la funzione di contenimento del terrapieno a tergo della banchina.

Si ritiene che il diaframma in questione, attestato ad una profondità pari a -12,00 m ed avente uno spessore di 80 cm, costituisca una barriera continua nei confronti della diffusione di inquinanti verso la laguna.

L'efficacia ambientale di tali strutture dovrà essere verificata con indagini di livello superiore come previsto dal verbale della Conferenza di Servizi Decisoria del 05.04.2005.

Banchina Carnia Venezia Giulia, Banchina Emilia 2, Banchina Liguria - Banchine a diaframmi in c.a.

Tali banchine sono costituite da un diaframma verticale in cemento armato, tirantato, con funzione di contenimento. Esso è costituito da elementi modulari, accostati e ammorsati tra di loro con giunti di tipo "maschio e femmina". Come per la precedente tipologia di banchina, considerate le profondità di attestamento, le stratigrafie, il tipo di giunzione e quanto riportato nei certificati di collaudo, è possibile affermare che i manufatti in questione possono costituire un confinamento alle acque di falda verso la laguna. L'integrità dei diaframmi di alcune di queste è certificato dal Certificato di Collaudo. In particolare per Banchina Emilia 2 si provvederà ad indagini di livello superiore come previsto dal verbale della Conferenza di Servizi Decisoria del 05/04/2005.

Raccordo Banchine Beltrame-Ilva, Rettifica Molo Sali - Palancolati in acciaio con giunti a tenuta

In entrambi i casi si tratta di diaframmi realizzati con palancole in acciaio munite di giunti a tenuta idraulica lungo tutto l'altezza, attestate ad una profondità di -20,50 m e -21,00 m. Considerate le profondità di attestamento, le stratigrafie, il tipo di giunzione e quanto riportato dalle dichiarazioni del progettista (Rettifica Molo Sali) è possibile affermare che i manufatti in questione sono conformi in relazione all'efficacia del contenimento delle acque di falda verso la laguna.

Le Opere ritenute non conformi in applicazione delle verifiche previste dalla "Fase 1 - Modalità di verifica della tenuta idraulica delle banchine esistenti" sono:

Sponda V.V.F.F., Sponda Nord Molo Sali, Banchina Fintecna, Voltatesta Sali - Scarpate

La delimitazione del terrapieno è costituita da una sponda a scarpata rivestita, in genere, in pietrame trachitico. Detta tipologia risulta in grado di assicurare una buona protezione da fenomeni di erosione, ma è del tutto inadeguata ai fini dell'isolamento idraulico. In questi casi si dovrà prevedere la realizzazione di una nuova banchina o di un opportuno marginamento.

Banchine Aosta, Piemonte 1, Piemonte 2, Romagna, Emilia 1 - Banchine "a giorno"

L'opera di accosto è costituita da un impalcato orizzontale in c.a., sostenuto da più ordini di pali a grande diametro. Per contenere il terrapieno, l'opera è completata da una scarpata rivestita in pietrame, posta fra i pali e sottostante l'impalcato. A tergo dell'ultimo ordine di pali è spesso presente un diaframma in calcestruzzo di modesta profondità, avente la funzione di contenimento del terrapieno del retrobanchina. Si ritiene che le caratteristiche costruttive di tale tipologia di banchina non diano nessuna garanzia di isolamento idraulico. Fa eccezione la Banchina Piemonte 1, essa infatti è stata oggetto di recente ristrutturazione, nel corso della quale è stato realizzato un palancole con giunti a tenuta idraulica.

Si fa rilevare inoltre che per la banchina Piemonte 2 risulta in corso la gara per l'aggiudicazione dei lavori di adeguamento della stessa.

Banchine Friuli e Cadore - Banchine a massi

Dette banchine sono realizzate mediante la posa in opera di massi in calcestruzzo. Essi vengono collocati gli uni sopra gli altri a formare il paramento sulla sommità del quale è realizzato il coronamento. Il terreno a tergo del muro è costituito da un rinfianco di pietrame. Tale tipologia di banchina, essendo caratterizzata dall'esistenza di discontinuità sia verticali che orizzontali, non possono essere ritenute conformi alle le specifiche previste dal Master Plan per Porto Marghera.

Banchine Veneto, Trento, Bolzano, Lombardia - Banchine a cassoni

Il cassone è un manufatto in cemento armato, generalmente a pianta rettangolare, vuoto internamente che, in fase di posa in opera, viene riempito con calcestruzzo magro, sabbia o altro materiale granulare. I cassoni vengono disposti affiancati l'uno all'altro in modo da formare l'opera di accosto. Anche in questo caso l'esistenza di giunti verticali, tra un cassone e l'altro, non garantisce l'isolamento idraulico.



Figura 8.5.4.7.2.3 -
Banchine dell'area portuale

8.5.4.8 Diaframature per opere di messa in sicurezza permanente

Altre opere di marginamento riguardano interventi di messa in sicurezza permanente di discariche o siti inquinati la cui realizzazione è di competenza di soggetti privati. Tali interventi svolgono, nei confronti del deflusso delle falde, un effetto di confinamento in maniera analoga ai marginamenti realizzati o in corso di realizzazione lungo le sponde dei canali industriali. In questo caso, essendo le opere presenti su aree limitate, i diaframmi vanno in genere ad isolare tutto il volume all'interno del diaframma stesso (presenza di un livello impermeabile continuo).

In Figura 8.5.4.8.1 sono state indicate alcune delle opere di messa in sicurezza permanente realizzate all'interno del Sito di Interesse Nazionale.



Figura 8.5.4.8.1 - Diaframmi realizzati come misure di messa in sicurezza permanente.

8.5.4.9 Effetto del marginamento sul regime piezometrico

Il monitoraggio in continuo della prima falda significativa, ha evidenziato come il regime piezometrico risenta degli effetti mareali anche in prossimità di tratti di sponda marginati o con palancole già infisse (cfr. paragrafo 8.5.4.3). L'effetto della marea quindi si avverte anche nell'entroterra nonostante la presenza di un "muro" di confinamento spinto nel sottosuolo fino ad intercettare l'intero spessore della falda che i documenti pregressi denominavano come "prima falda".

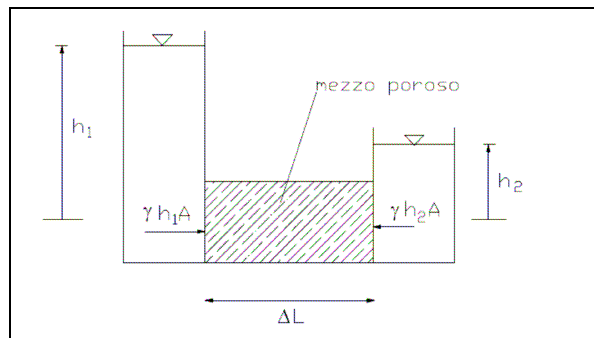


Figura 8.5.4.9.1 - Profondità dei marginamenti dei canali industriali

Per spiegare pertanto l'influenza della marea nella falda a tergo delle palancole dobbiamo supporre che al di sotto delle palancole (ovvero anche in un intorno più o meno vasto) esista un mezzo poroso sufficientemente continuo dotato di una certa trasmissività nel quale, a seguito di un innalzamento del carico idraulico nei canali industriali per l'effetto della marea (serbatoio 1), si verifichi un innalzamento della piezometrica (si ricorda che l'acquifero è confinato) della falda (serbatoio 2).

Ciò significa che i canali industriali ed il primo acquifero significativo sono in contatto al di sotto dei marginamenti attraverso un mezzo poroso.

Per esemplificare ciò riportiamo uno schema "didattico"¹³. Supponiamo di avere due recipienti (serbatoio 1 e serbatoio 2), come in figura, separati da un setto poroso (sabbia o limo sabbioso con una discreta permeabilità). Quando il livello nel recipiente 1 si alza di Δh_1 , si trasmetterà la pressione all'interno del setto poroso e, nel recipiente 2, si rileverà l'innalzamento Δh_2 , dove, la differenza tra Δh_1 e Δh_2 rappresenta la perdita di carico.



¹³ Tratto da "Corso di Idraulica ed Idrologia – Carlo Gregoretti



Figura 8.5.4.9.2 - Profondità dei marginanti ultimati o con misure di sicurezza presenti

Questo comportamento è coerente con il quadro geologico ricostruito al capitolo 7 sulla base di migliaia di stratigrafie. E' emerso infatti che l'assetto stratigrafico è assai complesso e che, in molti casi, il modello concettuale che era stato adottato in passato all'interno di Porto Marghera non rappresenta in modo soddisfacente la situazione reale. Infatti il modello concettuale idrogeologico a "doppia falda" si riscontra esclusivamente nella Penisola della Chimica, mentre nel resto del SIN si hanno corpi sabbiosi intrecciati separati da settori con sedimenti prevalentemente fini. Tale complessità veniva messa in risalto già nel

Master Plan dove, in conseguenza dei risultati della prima fase, si parlava di discontinuità nel livello permeabile che separa la “falda nel riporto” (laddove presente) dalla “prima falda” ed in quello sottostante che divide la “prima falda” dalla “seconda” (utilizzando la terminologia del Master Plan).

8.5.4.10 Opere di drenaggio

Attualmente molte aziende hanno avviato una “messa in sicurezza di emergenza” della falda attraverso un sistema di emungimento costituito dalla realizzazione di una rete di captazione con pozzi, wellpoint o vasche di drenaggio in attesa che vengano ultimate le opere di marginamento dei canali industriali¹⁴.

Con DGR n°4225 del 29/12/2004 la Regione Veneto, “*nelle more della realizzazione degli interventi di bonifica e ripristino ambientale (misure di messa in sicurezza di emergenza di cui all'art. 2, lettera f del Dm 471/1999)*”, definisce le “*procedure cui dovranno attenersi i soggetti che operino emungimenti di acqua dal sottosuolo nell'ambito di operazioni di messa in sicurezza di emergenza ai sensi delle vigenti disposizioni in materia di bonifica dei siti inquinati*”.

In allegato alla delibera vengono forniti due moduli che il soggetto privato dovrà compilare ai fini della comunicazione di avvio delle operazioni di pompaggio (allegato A) ed ai fini della comunicazione mensile per il monitoraggio delle operazioni di pompaggio (allegato B).

L'allegato B fornisce indicazioni sul quantitativo e sulla gestione dell'acqua emunta dal sottosuolo. Successivamente, l'ARPAV, richiese alle aziende, che hanno avviato interventi di messa in sicurezza d'emergenza della falda ai sensi della DGRV n°4552 del 29/12/2004, di fornire mensilmente le seguenti ulteriori informazioni:

1. Identificativo elemento drenante;
2. Tipologia elemento drenante (piezometro, trincea, TOC, vasca o impianto wellpoint, ecc.);
3. Località: nome dell'area o del reparto in cui si trova l'elemento drenante;
4. Data di realizzazione dell'elemento drenante: piezometro, trincea, TOC, vasca o impianto wellpoint;
5. Coordinate x e y, GB Fusso Ovest: solo per i piezometri. Per gli altri elementi, trincee drenanti, impianti wellpoint, vasche drenanti, TOC, ecc., dovrà essere trasmessa una dettagliata planimetria con riportata l'esatta ubicazione degli elementi, se già trasmessa in passato, dovrà essere comunicato il documento di riferimento nel quale è contenuta;
6. Quota del bocca pozzo rispetto a livello medio mare: solo per i piezometri, espresso in metri con due cifre decimali;
7. Distanza tra piano campagna e il bocca pozzo: solo per i piezometri, espresso in metri con due cifre decimali;
8. Quota del p.c. rispetto al livello medio mare, espresso in metri con due cifre decimali;

¹⁴ Tali interventi vengono eseguiti in relazione a superamenti di oltre 10 volte il limite normativo (cosiddetti Hot Spot) per i composti “persistenti, molto tossici e cancerogeni” od all'indicazione del Master Plan: “*il marginamento realizzato dal Magistrato alle Acque di Venezia e le relative opere di drenaggio costituiscono la migliore modalità per impedire la diffusione di contaminazione verso l'ambiente lagunare: nel caso di opere di marginamento che non siano effettivamente avviate entro il 31.12.2004, è necessario adottare quali sistemi alternativi di intercettazione, barriere di pozzi di emungimento – o sistemi equivalenti efficaci – poste al confine del margine demaniale verso la laguna, fatta salva comunque la necessità di eventuali ulteriori interventi sulla base dei dati disponibili*”. Si precisa che la presente indagine idrogeologica non ha il compito di entrare nel merito di tali indicazioni, fornite antecedentemente ai risultati conseguiti dalla Indagine idrogeologica stessa.

9. Profondità del piezometro: rispetto a piano campagna, espresso in metri con due cifre decimali;
10. Profondità della trincea, della vasca o del TOC, espresso in metri con due cifre decimali;
11. Quota del limite superiore del filtro riferito a piano campagna: per i piezometri o per gli impianti wellpoint, espresso in metri con due cifre decimali;
12. Quota del limite inferiore del filtro riferito a piano campagna: per i piezometri o per gli impianti wellpoint, espresso in metri con due cifre decimali;
13. Diametro interno del piezometro, espresso in metri con due cifre decimali;
14. Acquifero intercettato: si specifichi se l'elemento drenante è fessurato in corrispondenza del primo acquifero o del riporto;
15. Data di inizio emungimento;
16. Livello di equilibrio della falda riferito a livello medio mare: si intende il livello piezometrico imposto dalla pompa o dai wellpoint. Nel caso dei dreni, il livello medio all'interno del tubo drenante, espresso in metri con due cifre decimali;
17. Portata media di emungimento: riferita al singolo piezometro o all'elemento drenante (trincea, vasca, linea wellpoint o TOC), espressa in litri/minuto;
18. Volume d'acqua emunta mensilmente: dal singolo piezometro o dall'elemento drenante (trincea, vasca, linea wellpoint), espressa in metri cubi;
19. Lunghezza della trincea drenante, della vasca, del TOC o dell'impianto wellpoint, espressa in metri con due cifre decimali;

Attualmente, le aziende che hanno avviato le attività di messa in sicurezza di emergenza della falda e che danno comunicazione mensile ai sensi della DGRV 4552/04, sono 24. Esse hanno realizzato complessivamente 139 punti di drenaggio suddivisi nelle seguenti tipologie:

- emungimenti puntuali: piezometri
- emungimenti lineari: allineamenti di wellpoint, trincee drenanti e Trivellazioni Orizzontali Controllate (T.O.C.);
- emungimenti areali: Vasche ATI e API

La maggior parte di queste aziende sono dislocate all'interno del Petrolchimico su un'area di circa 600 ha (macroisole Nuovo e Vecchio Petrolchimico) dove, nel settembre 2008, hanno prelevato circa 21000 m³ di acqua. Un dato particolarmente significativo deriva invece dalle attività di pompaggio che sta svolgendo la società Italgas nelle aree di Via Altobello ed "Ex Cledca" dove nello stesso mese, su un'area di circa 9 ha, ha emunto 8000 m³ di acqua. Tali aree si trovano infatti all'interno del corpo sabbioso più settentrionale ("San Marco").

Le opere di drenaggio, in alcune aree, comportano delle importanti deformazioni del campo di moto della falda. L'effetto di queste opere verrà discusso nel capitolo dedicato alla distribuzione della piezometria (paragrafo 8.5.5).

8.5.5 Distribuzione della piezometria

8.5.5.1 Dati di riferimento per la ricostruzione piezometrica

I dati piezometrici raccolti nel corso del monitoraggio in continuo condotto secondo la metodologia indicata ai paragrafi 8.5.1-8.5.3 sono stati elaborati al fine di determinare il campo di moto della falda.

Per caratterizzare la piezometria dell'area di Porto Marghera si è infatti provveduto al monitoraggio in continuo di ogni macroarea per un periodo di circa un mese (prima fase) come già riferito nel paragrafo 8.5.3 – monitoraggi in continuo; in seguito è iniziato un monitoraggio a scala di SIN tuttora in atto.

Oltre ai livelli della falda sono stati raccolti dati anche sulle oscillazioni di marea (mareografo di Punta Salute) e sulle precipitazioni atmosferiche (dati ARPAV, stazione Meteorologica di Mestre - Marghera).

Particolare attenzione è stata rivolta alle quote di riferimento dei piezometri monitorati nell'arco dell'indagine. Infatti, per uniformare le quote di riferimento dei piezometri derivanti da piani di caratterizzazione eseguiti in tempi e tecniche diverse, si è deciso di realizzare una specifica campagna di livellazione dei punti monitorati. Le livellazioni sono state eseguite dai tecnici e con la strumentazione del Servizio Geologico della Provincia di Venezia.

I risultati ottenuti hanno messo in evidenza alcune differenze sostanziali tra le quote ricavate dai precedenti piani di caratterizzazione e la campagna condotta dai tecnici della provincia mediante strumentazione GPS. Tale differenze, in un'area dove le differenze piezometriche sono normalmente limitate a pochi decimetri, sono indubbiamente significative e motivano questa ulteriore ed impegnativa attività aggiuntiva svolta dal Servizio Geologico.

8.5.5.2 Metodologia di elaborazione dei dati

L'analisi dei dati acquisiti nell'arco delle diverse campagne, considerando in aggiunta il quadro idrostratigrafico che nel tempo si è progressivamente definito, ha indotto a presentare i risultati secondo un approccio concettuale, attraverso una selezione dei dati che ha portato all'individuazione dei piezometri rappresentativi dei sistemi idrogeologici.

Per garantire la confrontabilità dei dati, quindi, è necessario eliminare la variabilità dovuta alla marea. Per fare ciò si è deciso di considerare il valore medio delle misure piezometriche in quanto il valore medio del contributo mareale nel lungo termine è nullo. A tal fine si deve considerare l'effetto dell'onda di marea la quale, propagandosi in maniera non istantanea nell'entroterra, produce una perturbazione della componente di pressione che si manifesta in tempi diversi nei vari piezometri monitorati in funzione della loro distanza dal margine lagunare e, soprattutto, della trasmissività. Ciò comporta una variazione del campo di moto e dei gradienti praticamente continua.

Allo scopo di confrontare tra loro le piezometrie nelle macroaree adiacenti e di avere una visione globale della distribuzione delle quote assunte dalla tavola d'acqua in tutto il territorio oggetto dello studio si è quindi scelto di utilizzare i valori medi assunti dalla superficie piezometrica durante i diversi periodi di monitoraggio. Tale scelta, che appare "inconsueta" in idrogeologia, è stata compiuta in funzione di alcune elaborazioni dei dati del monitoraggio:

- trend dei valori piezometrici (retta di interpolazione lineare) registrati nell'arco dei monitoraggi della prima fase (4 periodi di monitoraggio su 4 porzioni distinte del SIN) leggermente crescenti ma con una tendenza verso valori costanti;
- limitata variabilità delle piezometrie registrate durante la seconda fase rispetto alla prima.

L'accorgimento di utilizzare i valori medi ha permesso di annullare l'effetto dell'onda di pressione generata dalla marea sulle piezometrie che agisce con effetti differenti in relazione alla distanza dei piezometri dalle acque lagunari.

L'effetto indotto dalla marea rappresenta una variabile complessa nella comprensione delle dinamiche di flusso, soprattutto in vicinanza dei canali industriali, perciò necessita di uno studio accurato basato non più sui valori piezometrici medi, bensì su valori istantanei in corrispondenza di fasi tipiche di marea in un arco temporale ristretto. Le pressioni di marea, con la loro azione ciclica, comportano condizionamento in prossimità dei margini lagunari dei vettori gradienti idraulici.

8.5.5.3 Cartografia di distribuzione dei livelli piezometrici – Area SIN

La seguente tabella riporta un confronto tra i valori medi misurati nella prima fase di monitoraggio (eseguita in 4 periodi distinti su 4 porzioni distinte del SIN) ed i valori medi misurati nella seconda fase di monitoraggio.

	Livello medio falda (cm) seconda fase	Livello medio falda (cm) prima fase	Δ	Periodo monitoraggio
1705	26,8	43,5	-16,7	IV Campagna
AZO_07	65,9	64,1	1,8	III Campagna
Pz63	88,8	176,5	-87,7	IV Campagna
Pz64	32,3	30,8	1,5	IV Campagna
PSF1	99,8	67,1	32,8	I Campagna
M0059	40,8	20,0	20,8	II Campagna
M0073	66,9	54,1	12,8	II Campagna
M0133	58,5	26,3	32,2	II Campagna
M0135	59,3	45,8	13,5	II Campagna
M2007	64,0	53,5	10,5	II Campagna
M2008	45,1	60,7	-15,6	II Campagna
MOB_Pb9	30,1	5,6	24,5	I Campagna
NS13	34,1	20,5	13,7	IV Campagna
PF4	22,6	35,9	-13,4	III Campagna
PZE1-P	82,0	137,2	-55,2	I Campagna
PP2	82,3	84,7	-2,4	IV Campagna
S6	17,1	23,3	-6,2	IV Campagna
4802	78,4	67,5	10,9	I Campagna
PA	58,8	52,0	6,8	IV Campagna
NS02	2,4	-0,4	2,7	IV Campagna
PZ6P	11,7	-14,5	26,2	III Campagna
Pz7	158,4	136,3	22,1	III Campagna
10P	2,9	3,8	-0,9	IV Campagna

Figura 8.5.5.3.1 - Differenze dei livelli piezometrici tra prima e seconda fase;

La tabella evidenzia che tra i valori medi di prima fase e di seconda fase vi sono differenze molto limitate con l'eccezione di alcuni punti (ad es. Pz63 e PZE1-P). In base a questa constatazione si è deciso di

rappresentare i risultati delle piezometrie medie ottenute dalle prime 4 campagne di monitoraggio (prima fase) in un'unica cartografia.

La distribuzione dei valori piezometrici medi nell'area è stata studiata con metodi statistici e, dopo averne studiato la variabilità, si è provveduto all'interpolazione dei dati stessi.

Per la rappresentazione complessiva si è scelto di utilizzare una suddivisione per classi di quota di falda (Figura 8.5.5.3.2), con aliquote di 50 cm. Questa scelta corrisponde all'obiettivo di definire, a scala di SIN, gli andamenti generali dei deflussi ed il comportamento "medio" dell'acquifero, filtrando situazioni locali ed effetti di interferenze locali. Non vengono interpolati i piezometri nei pressi di San Giuliano in quanto localizzati in aree con prevalenza di litotipi fini.

L'analisi della cartografia mette in evidenza:

- quote medie di falda generalmente comprese nell'aliquota 0-50 cm;
- sistema complesso e molto dinamico regolato dagli effetti indotti da cause artificiali (canali di bonifica, idrovore, marginamenti, drenaggi artificiali). I drenaggi operati dalle singole aziende, nell'ambito degli interventi di messa in sicurezza, altera in maniera significativa il gradiente naturale della falda e, nell'intorno delle singole opere di captazione, generano dei coni di influenza che richiamano le acque dell'intorno. All'interno del Nuovo Petrolchimico ad esempio il sistema complessivo mantiene controllato il livello della falda ed impedisce flussi diretti verso la laguna.
- un'estrema complessità della piezometria nella Penisola della Chimica con alti piezometrici che, localmente, superano il metro s.l.m. e bassi al di sotto del medio mare. Come evidenziato da successive elaborazioni, tale complessità è legata ai numerosi elementi antropici interferenti (drenaggi)¹⁵;
- i gradienti idraulici medi sono prossimi allo zero e comunque si mantengono ampiamente al di sotto del uno per mille;
- i valori medi individuano, pur in un gradiente generale tendenzialmente piatto, un campo di moto con deflusso con una direzione prevalente WNW-ESE. Questo considerando il valore medio delle misure piezometriche. Si ricorda che se confrontassimo valori istantanei, si determinerebbe un gradiente variabile nel tempo e nello spazio.

¹⁵ Si osserva che la Penisola della Chimica è la sola parte di Porto Marghera per la quale si disponeva, già prima dell'inizio della seconda fase, di cartografie piezometriche di dettaglio. Per approfondimenti su questa parte si rimanda agli studi precedenti. Si ricordano in particolare le cartografie riportate nel Master Plan (nel testo si afferma "*la prima falda si presenta come una falda in pressione, caratterizzata da bassi gradienti e da basse velocità. Mano a mano che si procede verso il centro del Petrolchimico, esclusa la zona della depressione, le quote piezometriche diminuiscono leggermente stabilizzandosi tra 0,45 e 0,75 m s.l.m., quote che permangono fino al canale Malamocco-Marghera, se si eccettua un alto piezometrico nella zona al confine Montefibre-Enichem.*" Si ricorda inoltre il già citato lavoro di Francani ed Alberti (2005).

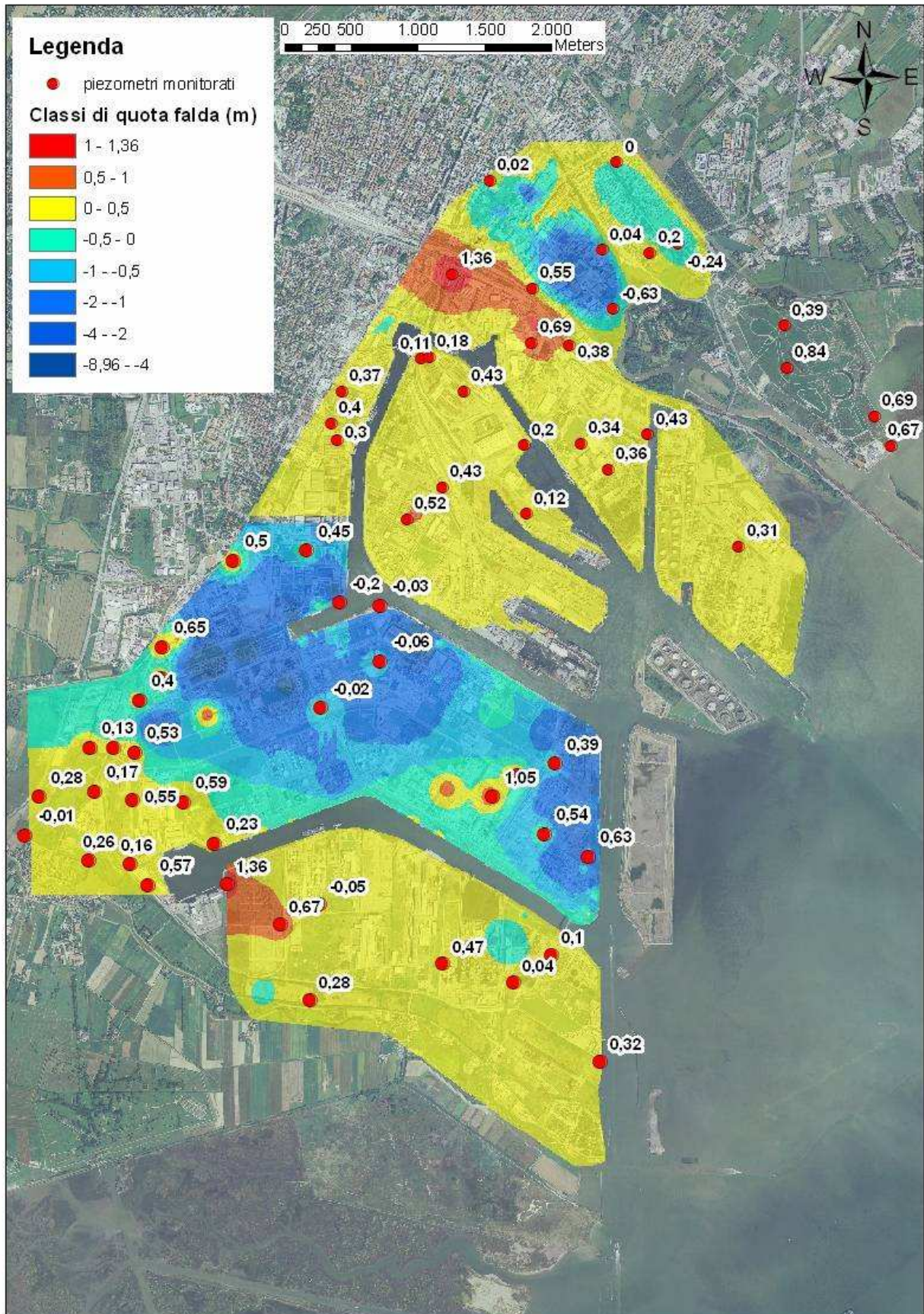


Figura 8.5.5.3.2 - Distribuzione delle piezometrie medie in m s.l.m. (valori medi riferiti alle 4 singole campagne)

8.5.5.4 Cartografia di distribuzione dei livelli piezometrici – FUSINA

La macroarea Fusina è caratterizzata dalla presenza di 2 corpi acquiferi (denominati “Fusina” e “Malcontenta”), i quali mostrano tra loro un elevato grado di interconnessione idraulica.

Da un punto di vista idrostratigrafico si riscontra nella parte a monte un unico materasso sabbioso il quale, procedendo verso valle, si differenzia in 2 livelli dando origine ad un sistema multifalda (Figura 8.5.5.4.1).

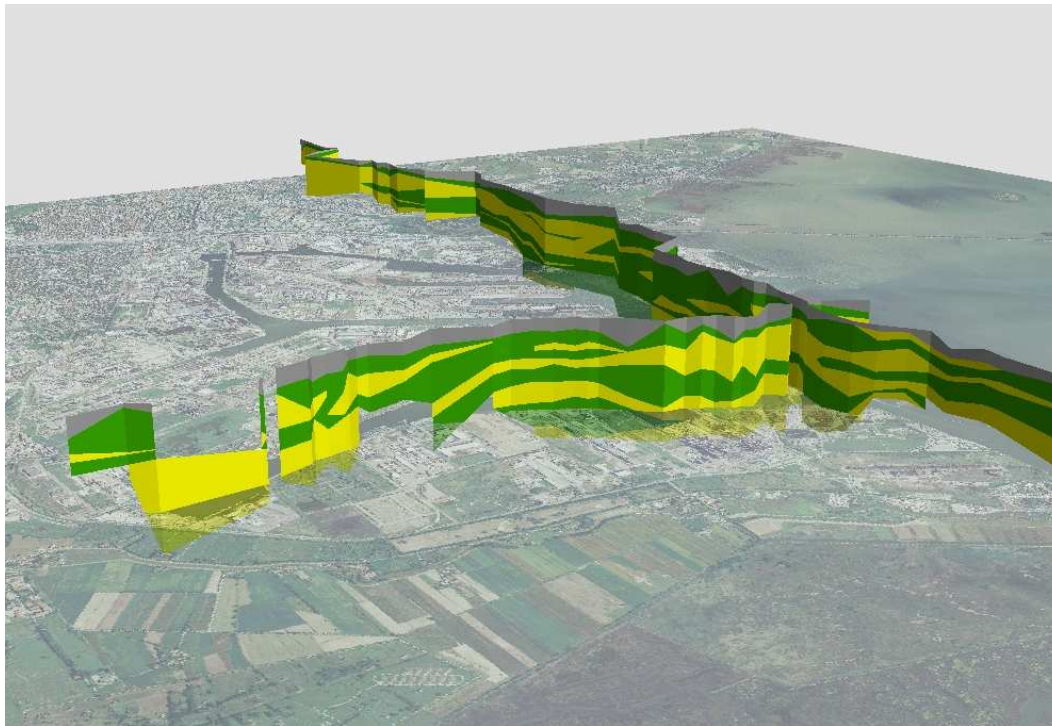


Figura 8.5.5.4.1 - Quadro idrostratigrafico del corpo “Malcontenta” – Macroarea Fusina

In Figura 8.5.5.4.2 si riporta la tavola relativa al 1° ed al 2° livello acquifero.

Dall'analisi della tavola è possibile ricavare le seguenti considerazioni:

- in linea generale si evidenziano dei livelli medi di falda compresi in un intervallo molto ristretto. I valori sono compresi nella classe 0-50 cm s.l.m.;
- i valori si distribuiscono in modo molto irregolare verosimilmente in relazione all'eterogeneità dell'area;
- nel settore di valle il 2° livello presenta quote mediamente più elevate rispetto a quelle del 1° livello soprastante;
- si evidenzia come il Naviglio Brenta non modifica l'andamento della piezometria ricostruita nella parte meridionale dell'area cartografata confermando la mancanza di interconnessione tra corso d'acqua e corpo sabbioso acquifero. Il fondo del letto del Naviglio Brenta (normalmente 3 metri; massimo 4-5 metri) si trova a quote superiori di quelle del tetto del corpo sabbioso, inoltre tra il tetto dell'acquifero ed il letto del corso d'acqua è presente un continuo e omogeneo livello impermeabile che impedisce una connessione idraulica tra i due.

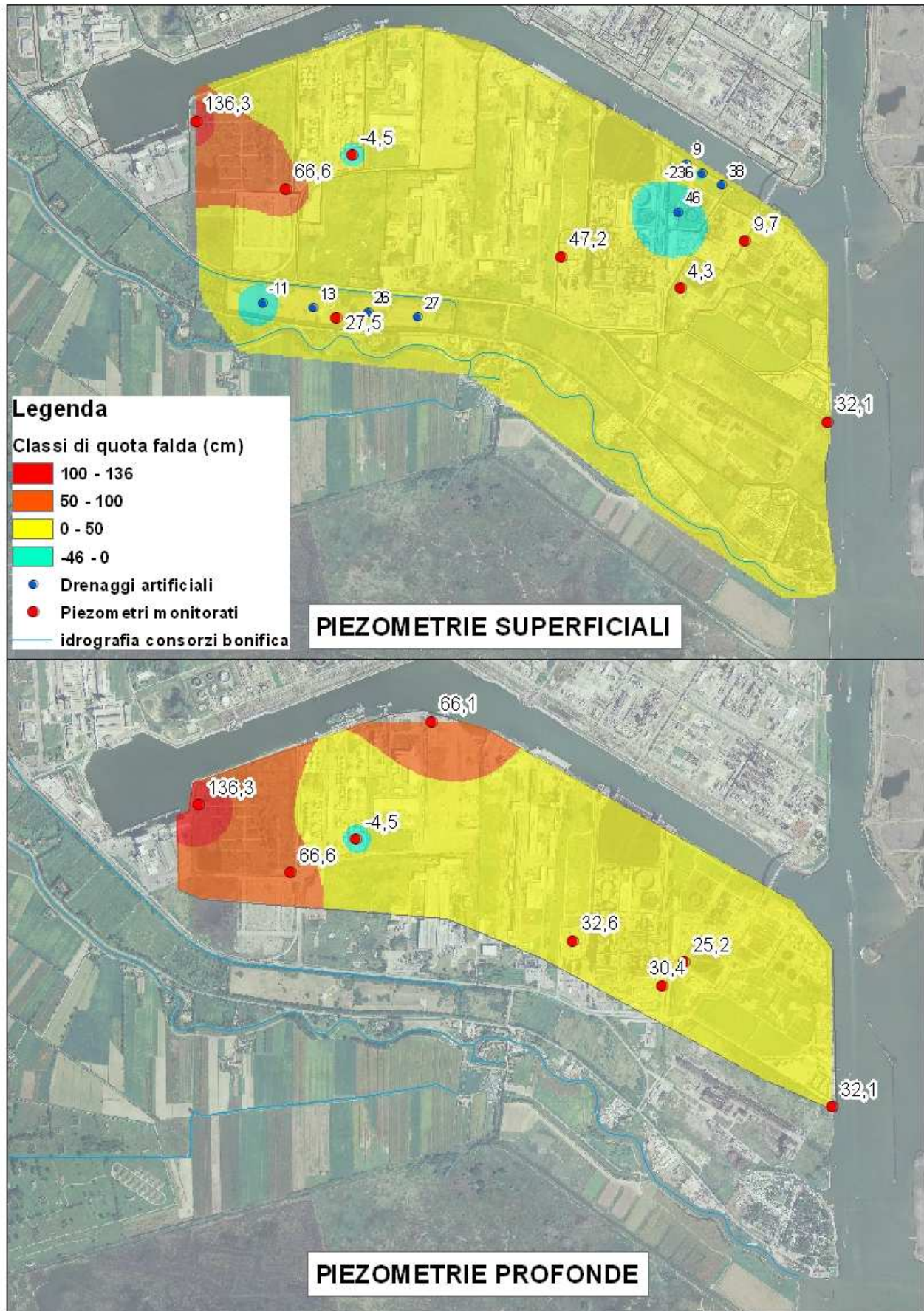


Figura 8.5.5.4.2 - Distribuzione delle piezometrie espresse in cm s.l.m. – Macroarea Fusina

PIEZOMETRICA MEDIA LUNGO IL PROFILO 3EW

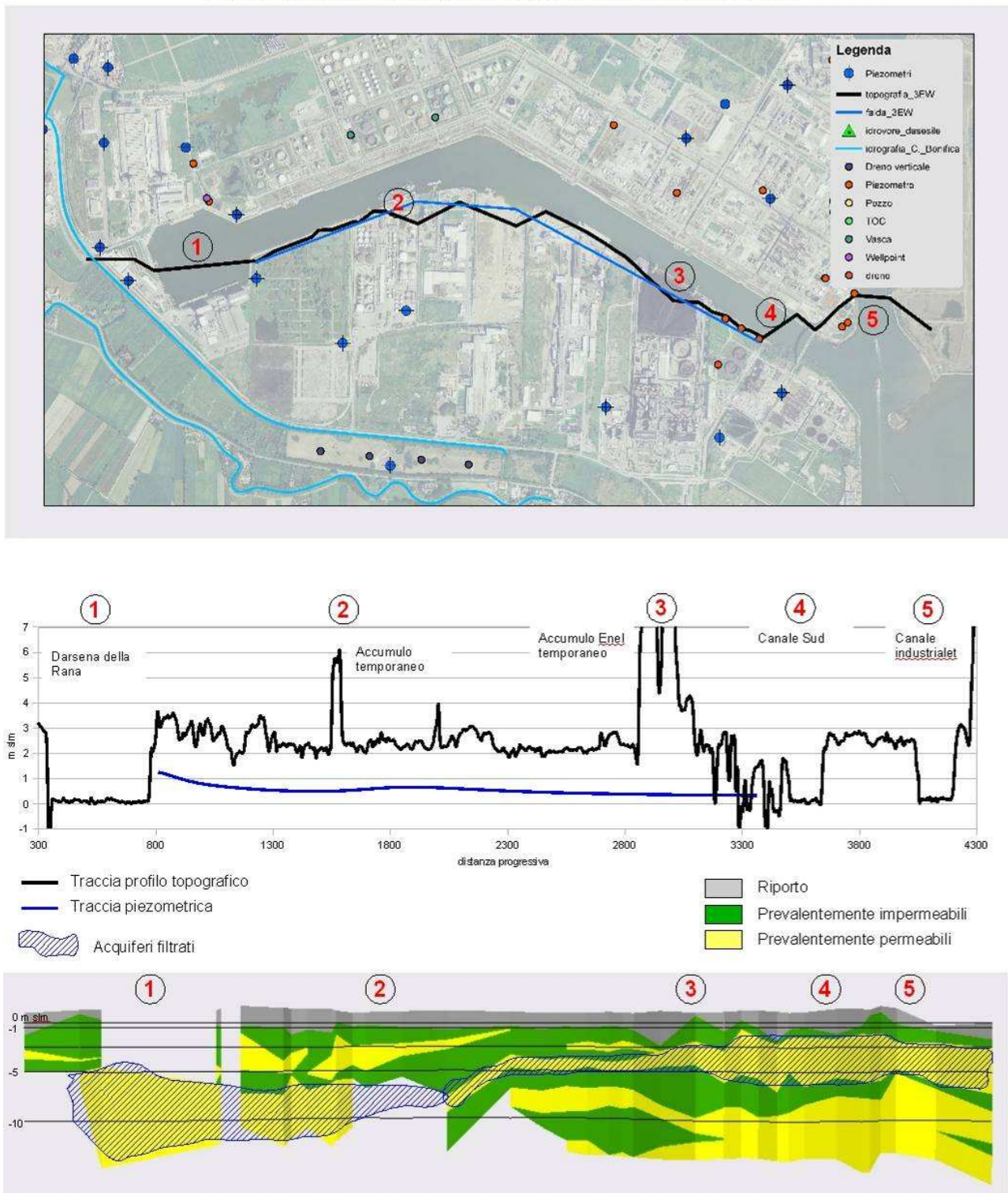


Figura 8.5.5.4.3 - Andamento della piezometria media espressa in m s.l.m. – Macroarea Fusina

In Figura 8.5.5.4.3 si riporta l'andamento della piezometria media lungo il profilo longitudinale del corpo acquifero rappresentato in Figura.

Il livello piezometrico medio si riferisce all'acquifero superficiale. Si ricorda che dalla ricostruzione precedente (Figura 8.5.5.4.2) in questo settore il livello acquifero profondo presenta mediamente quote piezometriche superiori rispetto a quello superficiale.

Si evidenzia come la piezometria media presenta un andamento decrescente procedendo da monte verso valle. Nella parte a monte il dislivello piezometrico risulta più evidente mentre procedendo verso valle questo risulta essere meno evidente a causa del ruolo regimante della laguna e dei canali industriali. Nel complesso, tuttavia, si osserva un andamento piezometrico a bassa variabilità come già evidenziato precedentemente.

8.5.5.5 Cartografia di distribuzione dei livelli piezometrici – NUOVO PETROLCHIMICO

Come evidenziato dal modello idrogeologico semplificato la macroarea Nuovo Petrolchimico è caratterizzata da un punto di vista idrogeologico dalla presenza di un sistema a falde confinate sovrapposte. Tale caratteristica si riscontra in gran parte dell'area, fatta eccezione per la parte Nord orientale dove, invece, è presente un unico importante livello acquifero (Figura 8.5.5.5.1). Tale caratteristica idrostratigrafica ha permesso di considerare per la zona a monte di entrambi i livelli acquiferi i medesimi piezometri.

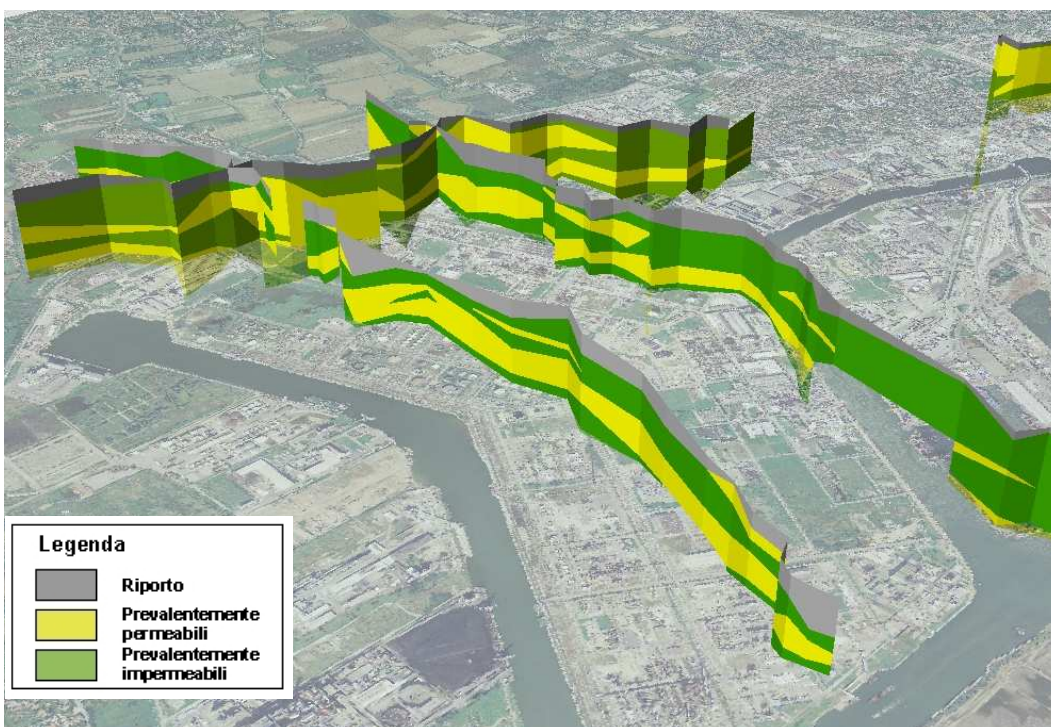


Figura 8.5.5.5.1 - Quadro idrostratigrafico del doppio acquifero confinato – Macroarea Nuovo Petrolchimico

Tenuto conto della distribuzione disomogenea dei piezometri del 2° livello si è preferito optare per una rappresentazione puntuale delle quote piezometriche in quanto una rappresentazione con analisi geostatistica non riprodurrebbe l'andamento reale del 2° livello acquifero.

Dalla Figura 8.5.5.5.2 relativa ai 2 livelli acquiferi si evidenzia:

- un elevato grado di influenze antropiche costituite da drenaggi orizzontali, well point, vasche drenanti che evidenzia una certa articolazione del flusso idrico sotterraneo e che comporta il mantenimento dei flussi all'interno dell'area;
- la morfologia della superficie piezometrica presenta un "alto idrogeologico" in corrispondenza del settore di SE; tale alto piezometrico è stato interpretato (MAV, 2007) in relazione a dispersioni di pozzi profondi (300-400 m) non adeguatamente sigillati, ma può essere causato anche da collegamenti geologici con corpi più profondi (30-50 m da p.c.). Si osserva che per dare questi alti piezometrici sono comunque sufficienti portate modestissime (dell'ordine del litro/secondo);
- la zona posta ad Ovest presenta quote superiori rispetto alla gran parte della macroisola; questa parte, a causa di marginamenti esistenti è in gran parte separata rispetto alla parte orientale;
- nella parte a sud-est il 1° livello acquifero, anche se notevolmente depauperato dai drenaggi artificiali, presenta ancora quote mediamente superiori rispetto al 2° livello. Questa circostanza, in concomitanza di eventuali discontinuità a scala locale del livello impermeabile, potrebbe generare una drenanza verticale del 1° livello verso quello sottostante comportando un ulteriore deterioramento della qualità della falda profonda.

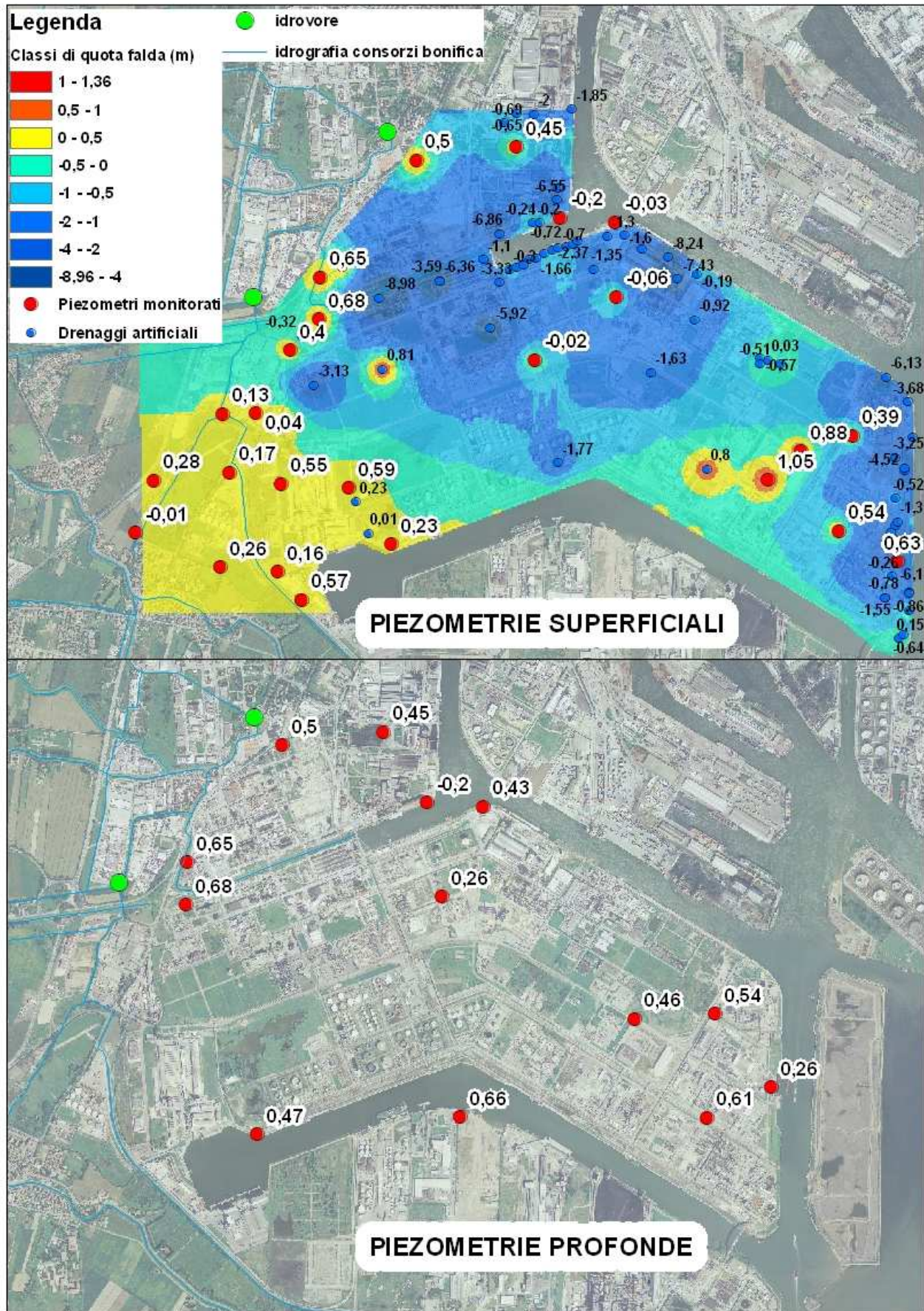


Figura 8.5.5.2 - Distribuzione delle piezometrie espresse in m s.l.m. per i piezometri più superficiali (c.d. prima falda del Master Plan) e profondi (c.d. seconda falda del Master Plan) – Nuovo Petrochimico

PIEZOMETRICA MEDIA LUNGO IL PROFILO 4EW

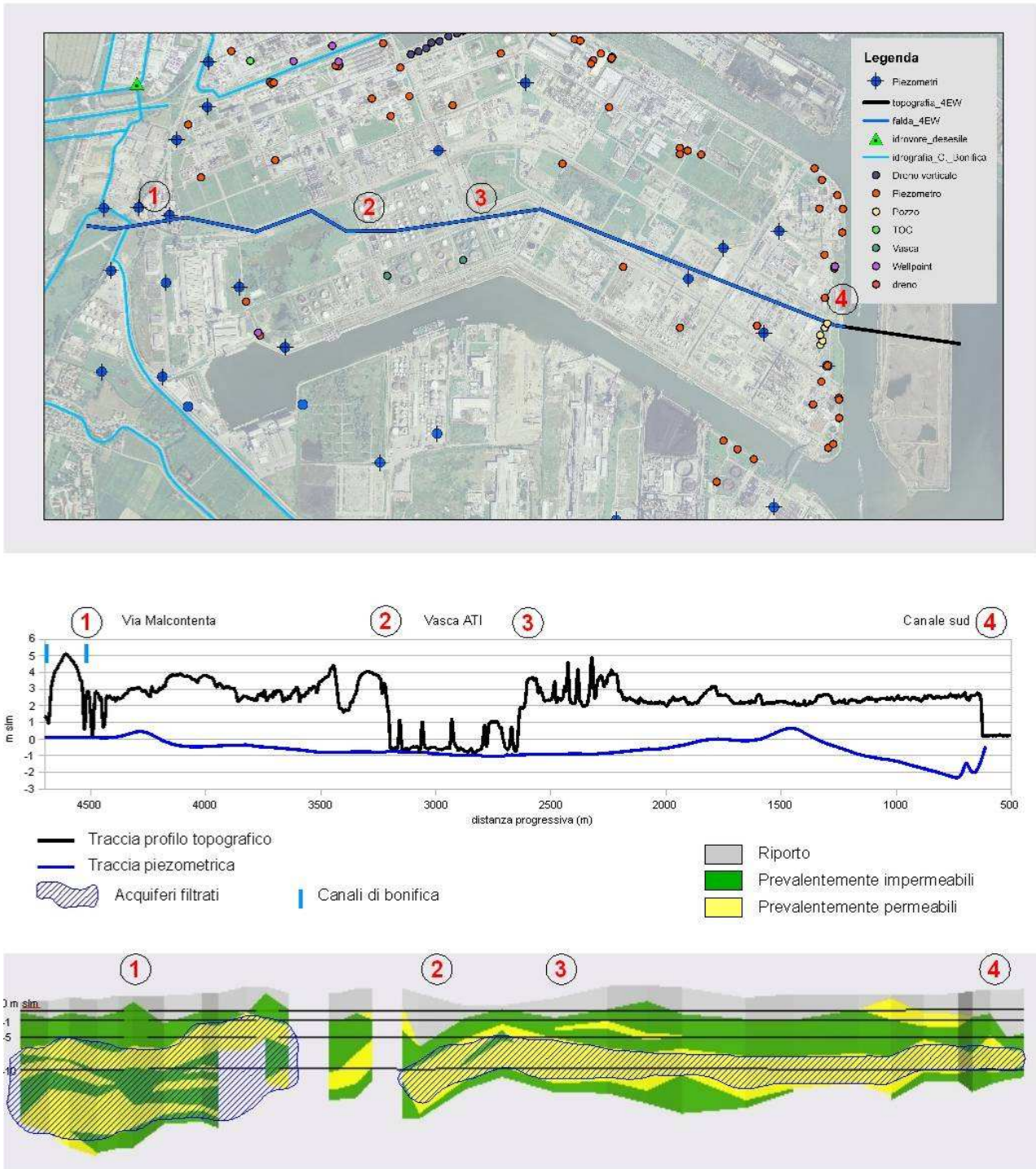


Figura 8.5.5.3 - Andamento della piezometria media espressa in m s.l.m. – Nuovo Petrolchimico

A differenza della macroarea Fusina in quella del Nuovo Petrolchimico la piezometria media ricostruita lungo il profilo mostra un elevato grado di complessità e variabilità a causa delle numerose influenze antropiche presenti nell'area. La piezometria media è riferita al corpo acquifero superficiale (c.d. prima falda del Master Plan) come evidenziato nella sezione idrostratigrafica (Figura 8.5.5.3).

La zona a monte è caratterizzata da un andamento regolare della piezometria in cui si evidenzia ancora una volta come i canali di bonifica, abbondanti in questa area, non comportino una variazione della piezometria stessa ad indicare l'assenza di collegamenti idraulici tra i canali stessi ed il corpo acquifero sottostante.

La parte centrale della macroarea è caratterizzata da un generalizzato "basso idrogeologico" determinato dall'elevato numero di drenaggi artificiali che regolano il livello piezometrico mantenendo così i flussi all'interno dell'area. Si evidenzia come il livello minore si riscontri in coincidenza della vasca ATI, la quale determina un depauperamento delle piezometrie delle aree circostanti.

La parte occidentale della macroisola è contraddistinta da un "alto idrogeologico" a cui successivamente segue un "basso idrogeologico". Come precedentemente descritto l'alto piezometrico è riconducibile a collegamenti geologici con corpi più profondi (30-50 m da p.c.) la cui causa è ipotizzata essere legata a fenomeni di drenanza verticale e dalla mancanza di continuità e omogeneità dei livelli impermeabili di separazione tra le falde confinate sovrapposte. Procedendo verso valle si riscontra una progressiva e netta diminuzione del livello piezometrico a causa dei massicci emungimenti presenti a ridosso del margine con il canale industriale.

8.5.5.6 Cartografia di distribuzione dei livelli piezometrici – AREA PORTUALE – AREA NORD

La zona rappresentata in Figura 8.5.5.6.2 è caratterizzata dalla presenza di 2 importanti corpi acquiferi: i corpi San Marco ed Isola Portuale. Questi corpi, costituiti da una successione di strati sabbiosi di spessore di almeno 6 m (Figura 8.5.5.6.1), rappresentano le parti a maggiore trasmissività; si sottolinea il fatto che al di fuori dei limiti di questi importanti corpi esistono ugualmente corpi sabbiosi e quindi potenziali vie di deflusso.

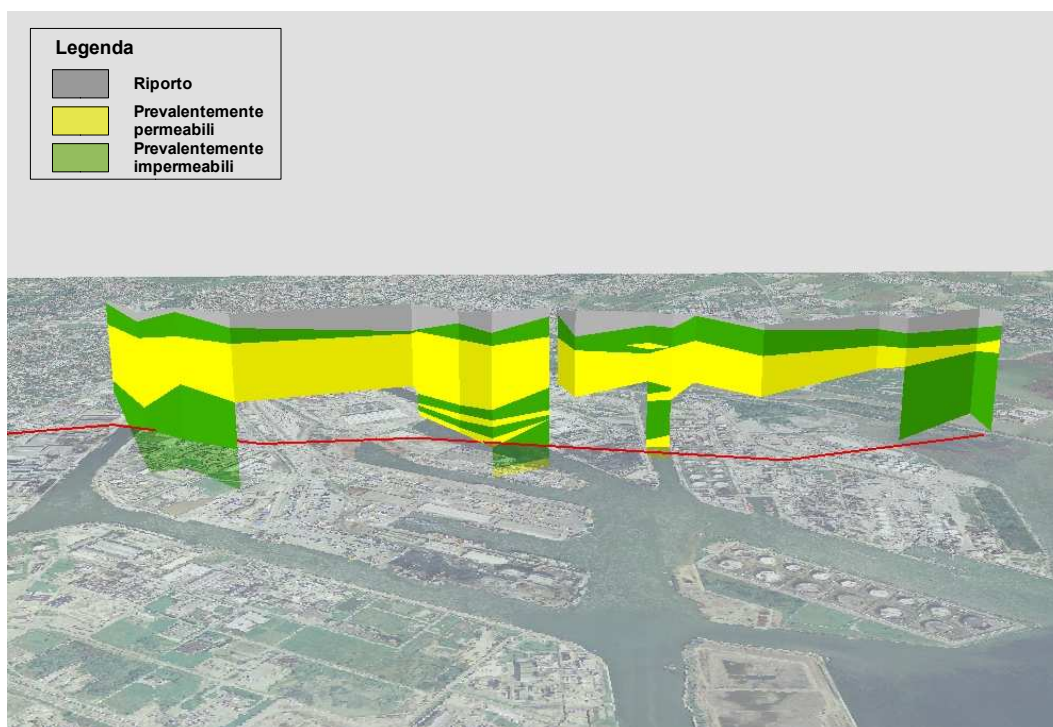


Figura 8.5.5.6.1 - Quadro idrostratigrafico del corpo Area Portuale

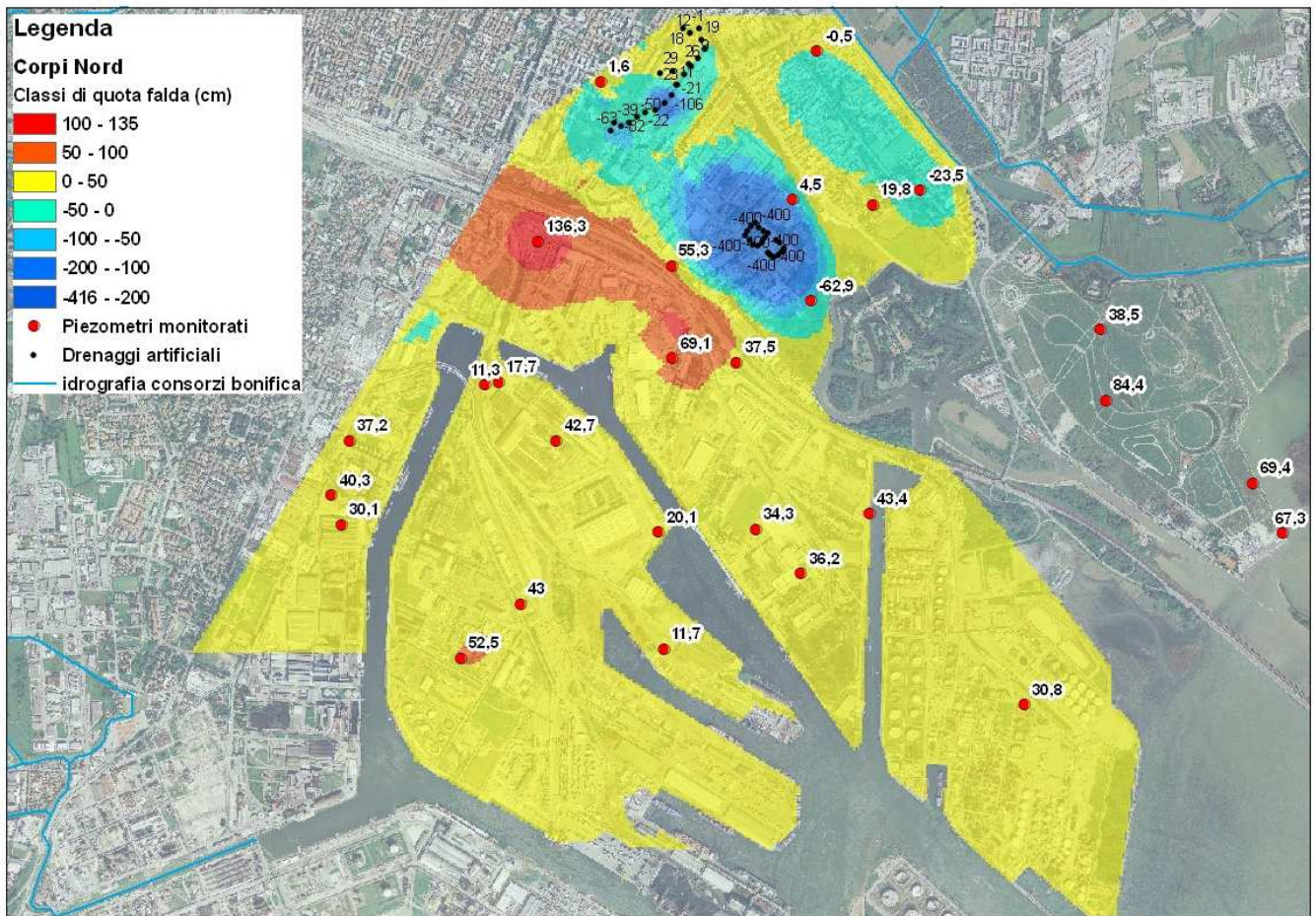


Figura 8.5.5.6.2 - Distribuzione delle piezometrie espresse in cm s.l.m. – Area Portuale - Area Nord

Dall'analisi della Figura 8.5.5.6.2 è possibile ricavare le seguenti considerazioni:

- quote piezometriche medie generalmente comprese nella maggior parte dell'area nella classe 0-50 cm con quote medie superiori di qualche decimetro alle quote medie dei livelli dell'acqua nei canali industriali;
- la morfologia della superficie piezometrica è complessa nell'area settentrionale: è presente un "duomo" con un "alto idrogeologico" in corrispondenza dell'area Fincantieri – Vega. Immediatamente a Nord, invece, la superficie piezometrica presenta forma concava, con 2 "bassi idrogeologici". In quest'area giocano un ruolo significativo i canali di bonifica i quali incidono il corpo acquifero San Marco, provocando un drenaggio verso il corpo o almeno un potenziale imposto dal canale che in quest'area ha la superficie libera a quote pressoché coincidenti con il livello del mare (non ci sono infatti opere idrauliche che impongono livelli al corso d'acqua). Inoltre c'è da considerare l'effetto indotto sul corpo acquifero San Marco da parte dei drenaggi artificiali localizzati in area Italgas (per Messa in Sicurezza di emergenza) ed in prossimità del cantiere per il nuovo polo universitario (wellpoint);
- l'Isola Portuale presenta ovunque quote piezometriche medie comprese nella classe 0-50 cm e pressoché coincidenti alle quote medie dei livelli dell'acqua nei canali industriali;
- in due piezometri posti nella parte centrale dell'isola portuale si hanno valori medi superiori al medio mare, seppur di quantità piuttosto modeste. Ciò potrebbe essere spiegato, considerato il carattere di

isola con un'alimentazione "profonda", derivante presumibilmente dalla continuità del corpo acquifero a profondità superiori rispetto alle quote dei canali industriali che circondano l'isola stessa.

PIEZOMETRICA MEDIA LUNGO IL PROFILO 8EW

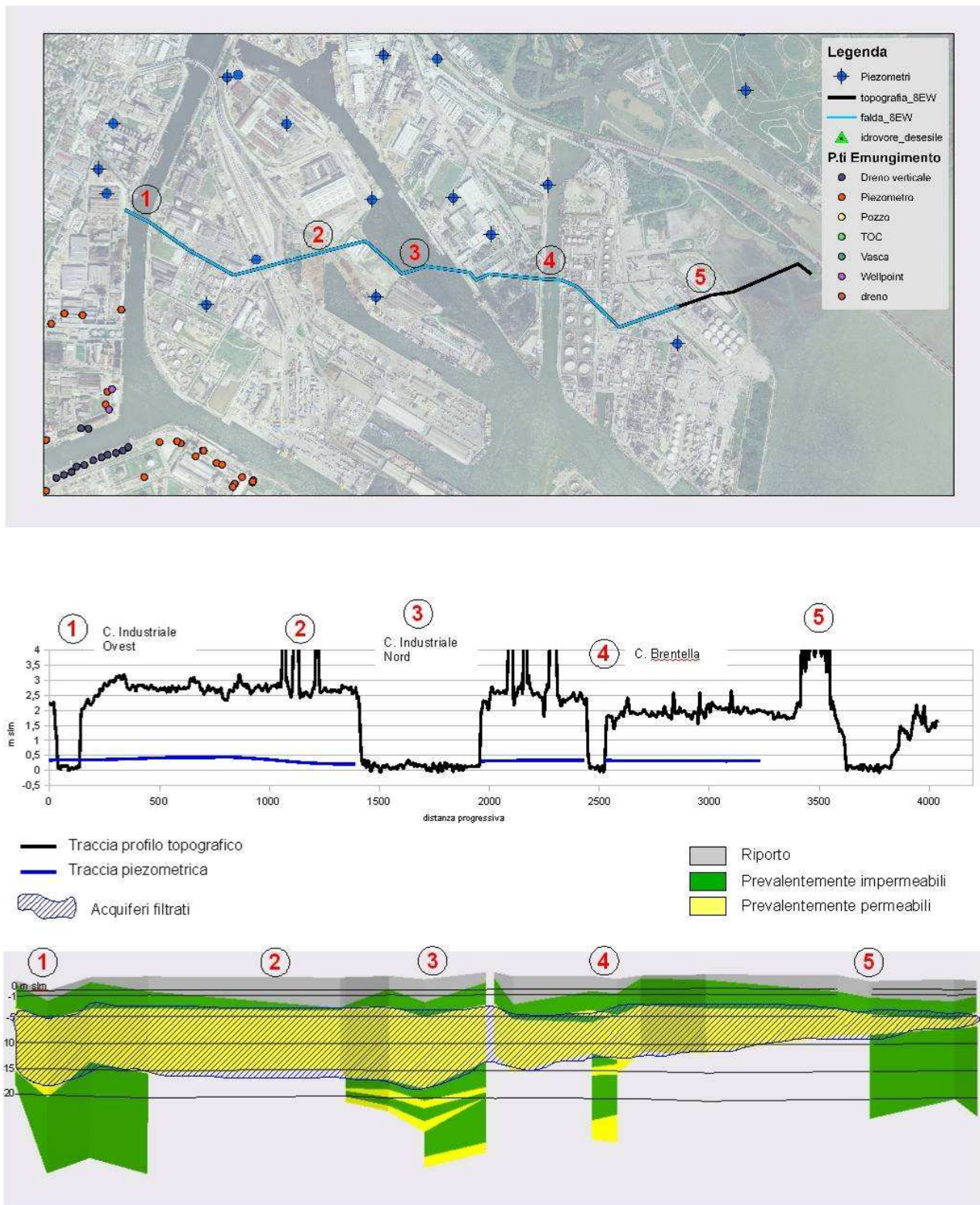


Figura 8.5.5.6.3 - Andamento della piezometria media espressa in m s.l.m. – Area Portuale

PIEZOMETRICA MEDIA LUNGO IL PROFILO 10EW

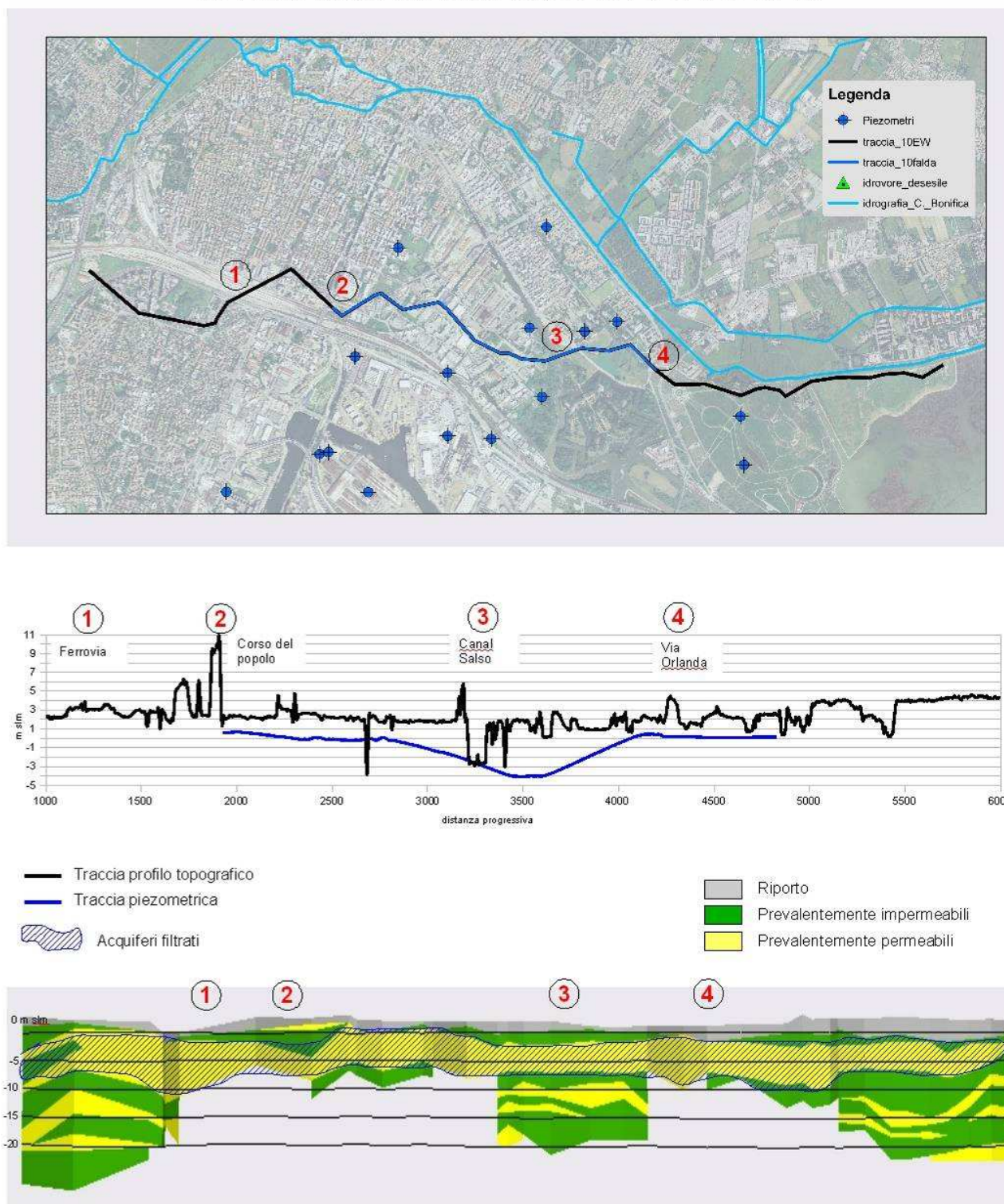


Figura 8.5.5.6.4 - Andamento della piezometria media espressa in m s.l.m. – Prima Zona Industriale- Area Nord

Nelle Figure 8.5.5.6.3 e 8.5.5.6.4 vengono riportate 2 sezioni longitudinali in corrispondenza dell'isola portuale e della I zona industriale. In queste aree del SIN sono presenti 2 importanti corpi acquiferi che però presentano diversi corpi superficiali di collegamento.

La sezione lungo l'isola portuale (Figura 8.5.5.6.3) presenta una piezometria media uniforme, con valori leggermente superiori nella parte centrale e valori via via decrescenti procedendo in direzione dei canali industriali.

La sezione di Figura 8.5.5.6.4 ubicata a nord della ferrovia presenta, invece, una piezometria media influenzata dai punti di drenaggio presenti in questa porzione di territorio. La zona a monte è caratterizzata da un "alto piezometrico" legato agli apporti provenienti dalla zona di ricarica del corpo acquifero. Successivamente si nota un forte depauperamento della piezometria per l'effetto indotto sul corpo acquifero da parte dei drenaggi artificiali localizzati lungo via Torino, in area Italgas ed in prossimità del cantiere del polo universitario. Procedendo verso valle si evidenzia un recupero del livello piezometrico medio legato al ruolo rilevante dei canali di bonifica che in questa area del SIN si trovano in collegamento idraulico con il corpo acquifero San Marco. A differenza dell'area del Nuovo Petrolchimico in questa zona i canali di bonifica ed il corpo acquifero sono in collegamento idraulico tra di loro per le peculiari caratteristiche del corpo stesso, quali l'assenza di un tetto impermeabile e la presenza di un importante corpo sabbioso che presenta quote prossime al piano campagna.

8.5.6 Gradienti idraulici

Dalle elaborazioni condotte è emerso che il gradiente idraulico medio è spesso prossimo a zero ed è comunque inferiore a 0,1%.

Il gradiente idraulico si presenta variabile nel tempo e nello spazio in funzione sia di cause naturali (marea), sia di cause indotte artificialmente (drenaggi artificiali).

Per ciò che concerne l'effetto della marea, che è il principale fattore di variabilità temporale, si può ragionevolmente affermare che durante le fasi di alta e bassa marea, in relazione agli smorzamenti e sfasamenti, il gradiente assume valori massimi, mentre i valori minimi si registrano in corrispondenza dei periodi di transizione tra i valori massimi e minimi della marea.

In riferimento all'effetto indotto da singoli punti di emungimento artificiali si ritiene che esso genera ripercussioni sul gradiente solo a scala locale. Sistemi di emungimento di carattere areale (vasca ATI, drenaggi nuovo petrolchimico, polo universitario, Italgas), in relazione all'estensione ed alle quantità emunte, si è dimostrato che sono in grado di deformare la piezometria media in ampie parti del SIN.

Ciò significa che è possibile "governare" i flussi idrici sotterranei all'interno del SIN con opere semplici e di costo limitato quali i sistemi di drenaggio. Si tratta comunque di sistemi che per raggiungere elevati gradi di efficienza, in fase di progettazione, necessitano di una preliminare ricostruzione geologica di dettaglio e di un dimensionamento idrogeologico.

8.6 Quantificazione dei flussi idrici sotterranei

8.6.1 Metodo di valutazione

La portata di una falda viene calcolata dalla seguente formula, derivata dalla legge di Darcy:

$$Q = T i L$$

dove:

Q = portata (m³/s)

T = trasmissività (m²/s)

i = gradiente idraulico

L = larghezza della sezione (m)

Utilizzando il quadro geologico ricostruito e la parametrizzazione eseguita in campo è possibile quindi valutare la portata dei corpi sabbiosi individuati.

I dati di input necessari per il calcolo dei flussi idrici sotterranei sono stati sperimentalmente raccolti nel corso della indagine idrogeologica ed esposti nei capitoli precedenti; in questo paragrafo verranno applicati alla valutazione quantitativa dei flussi.

Le stime verranno svolte riferendole ai principali corpi acquiferi individuati (i 4 corpi sabbiosi e l'acquifero a doppia falda della Penisola della Chimica).

Per il calcolo relativo ai singoli corpi idrogeologici sono state tracciate su ciascuno delle sezioni di calcolo (Figure 8.6.3.1 e 8.6.3.2). Le sezioni sono state scelte sulla base della ricostruzione stratigrafica, considerando l'asse di possibile deflusso, collegato ai trend deposizionali dei corpi. Si ricorda che localmente esistono altre aree con litotipi permeabili, ma queste hanno trasmissività di vari ordini di grandezza inferiore ai corpi sabbiosi considerati e quindi il loro contributo ai deflussi complessivi risulta trascurabile.

Da un punto di vista metodologico va specificato che il calcolo viene svolto a scala di corpo acquifero; non tiene conto quindi di situazioni locali in considerazione degli obiettivi di quadro idrogeologico complessivo che si prefigge l'indagine idrogeologica.

Ai quattro corpi principali (San Marco, Portuale, Malcontenta, Fusina) è stato aggiunto il corpo coincidente con la zona del nuovo petrolchimico a due falde (denominato "due corpi distinti"), con lo scopo di evidenziare come, in quest'area, la circolazione sotterranea sia caratterizzata dalla presenza di due falde distinte sovrapposte.

Per ciascun corpo sono state tracciate tre sezioni rappresentative, mentre per il corpo Fusina e la zona a doppia falda ne sono state tracciate due, in relazione alla disponibilità dei dati.

Nell'area più a Nord, coincidente con il corpo San Marco, i limiti e di conseguenza anche le dimensioni delle sezioni, per mancanza di dati nel margine settentrionale del SIN, sono stati stimati sulla base dell'assetto geologico-stratigrafico generale.

8.6.2 Parametri di input

8.6.2.1 Geometria degli acquiferi

Le *geometrie* delle singole sezioni sono state calcolate in automatico attraverso strumenti GIS.

Gli *spessori* sono stati misurati dall'intersezione della sezione di calcolo con le sezioni stratigrafiche tridimensionali.

A queste sono stati associati valori di permeabilità (k) e spessore (H) ($T=k*H$) e gradiente idraulico (i), ricavati dalle misure di campo.

8.6.2.2 Permeabilità

Il valore di *permeabilità* utilizzato corrisponde al valore mediano di tutti i valori k compresi nel volume del corpo considerato (paragrafo 8.4).

Al corpo di Fusina, non avendo a disposizione parametri idrogeologici provenienti da prove di campagna, è stato assegnato un valore di $5E-5$ m/s sulla base dell'analisi statistica complessiva sui parametri idrogeologici dell'area di Porto Marghera (paragrafo 8.4).

Per la Penisola della Chimica, unica area del SIN caratterizzata, da un acquifero a doppia falda, i valori di permeabilità sono in gran parte riferiti alla "prima falda". Si è quindi utilizzato un unico valore per entrambi gli acquiferi, anche se il secondo acquifero potrebbe essere meno permeabile del primo.

8.6.2.3 Gradiente idraulico

Il *gradiente idraulico* pari allo 1‰ generalizzato a tutto il SIN, è stato scelto sulla base dell'andamento piezometrico misurato e sui valori di letteratura relativi ad acquiferi di bassa pianura.

Nel paragrafo dedicato alla piezometria (paragrafo 8.5) si è visto come la maggior parte dei piezometri abbiano un regime direttamente correlato al regime di marea. Questo comporta che il gradiente idraulico abbia continue variazioni, sia come direzione che come valore e che mediamente si trovi vicino a valori nulli.

Analogamente a quanto fatto per la ricostruzione della distribuzione delle piezometrie è stato quindi necessario ed opportuno, utilizzare dei valori di gradiente medio. Questo anche in ragione del carattere di area della presente indagine idrogeologica e per eliminare soggettività nelle elaborazioni.

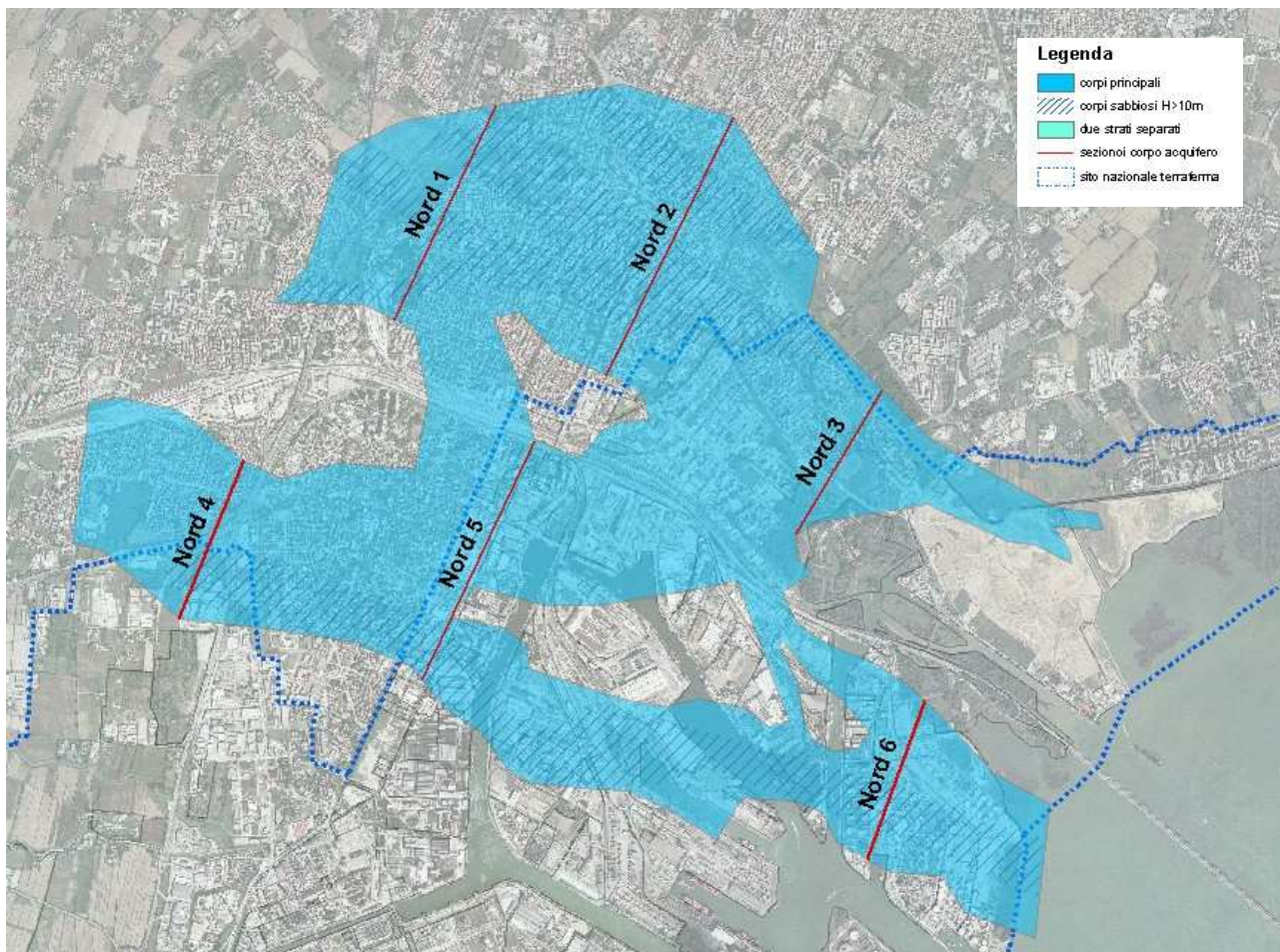
Il valore è di fatto sovrastimato. Infatti a scala di SIN i dislivelli piezometrici medi tra i vari punti sono confrontabili ai valori di oscillazione sul singolo piezometro in un ciclo di marea; inoltre la falda è sostanzialmente semistagnante. Con tale assunzione i valori di portata sono quindi anch'essi sovrastimati e, quindi, in un'ottica di valutarne gli effetti, cautelativi.

La direzione media è stata assunta sulla base delle cartografie dei valori piezometrici medi dall'entroterra verso la laguna ("Direzione regionale" – vedi paragrafo 8.5), indipendentemente dalla presenza di anomalie locali e/o di aree prive di gradiente.

8.6.3 Risultati delle elaborazioni

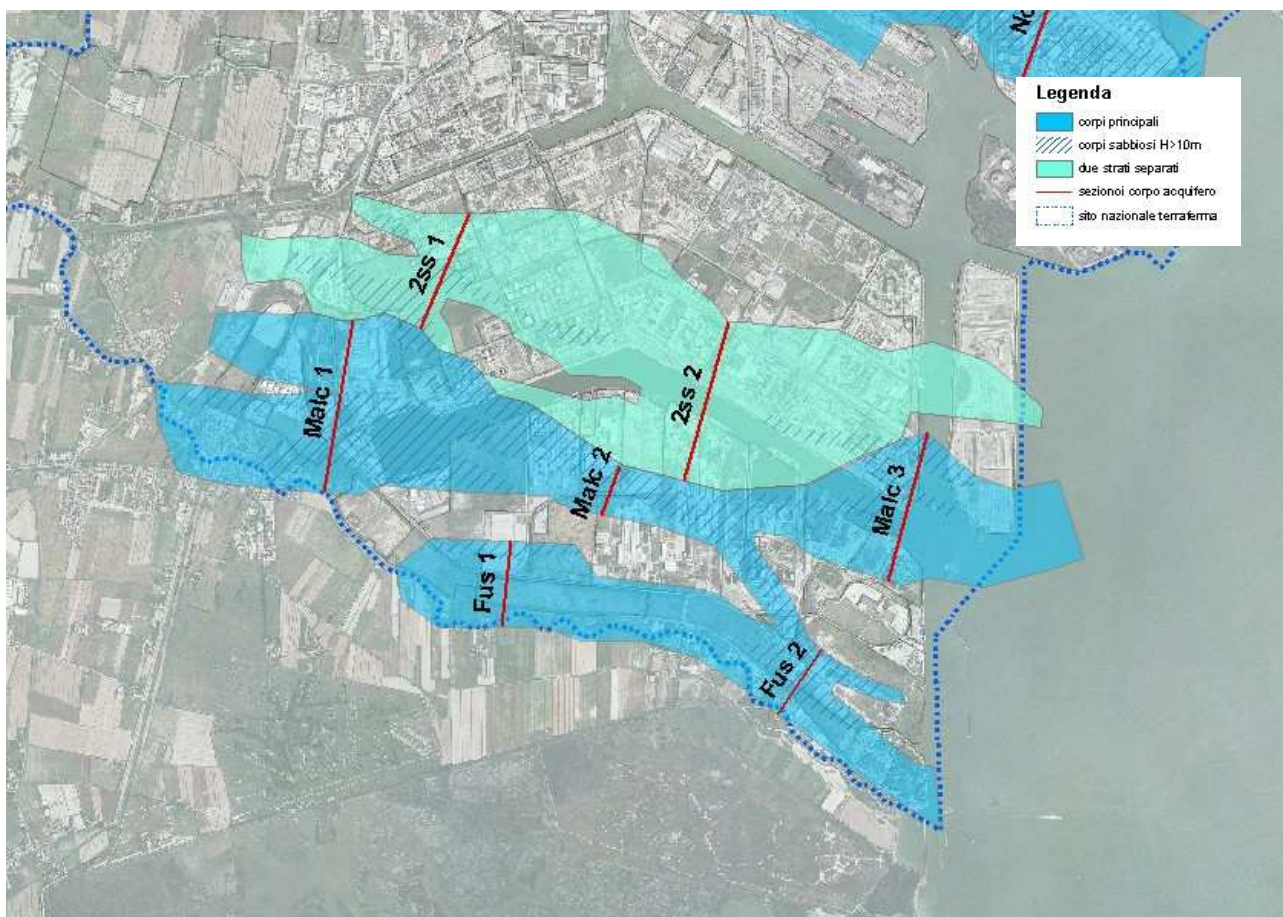
Le seguenti figure e tabelle riportano i risultati delle elaborazioni.

I valori di portata riportati in tabella sono espressi, per facilità di lettura, sia in metri cubi/giorno, che in litri/secondo.



Spessore corpo [m]	K (m/s)	Lunghezza sez. (m)	T (m ² /s)	Sezione	i	Q (l/s)	Q (m ³ /g)
11	9,60E-05	1490	1,06E-03	Nord 1	0,001	0,79	68
8	9,60E-05	1780	7,68E-04	Nord 2	0,001	1,37	118
7	9,60E-05	1120	6,72E-04	Nord 3	0,001	0,75	65
11	4,84E-05	1060	5,32E-04	Nord 4	0,001	0,56	49
13	4,80E-05	1640	6,24E-04	Nord 5	0,001	1,02	88
7	4,80E-05	1046	3,36E-04	Nord 6	0,001	0,35	30

Figura 8.6.3.1 - Sezioni di calcolo e risultati per i corpi acquiferi della parte settentrionale del SIN



Spessore corpo (m)	K (m/s)	Lunghezza sez. (m)	T (m ² /s)	Sezione	i	Q (l/s)	Q (m ³ /g)
13	2,70E-05	750	3,51E-04	2ss 1	0,001	0,26	23
13	2,70E-05	990	3,51E-04	2ss 2	0,001	0,35	30
10	5,00E-05	520	5,00E-04	Fus 1	0,001	0,26	22
10	5,00E-05	470	5,00E-04	Fus 2	0,001	0,24	20
18	2,63E-05	1050	4,73E-04	Malc 1	0,001	0,50	43
15	2,60E-05	320	3,90E-04	Malc 2	0,001	0,12	11
15	2,60E-05	930	3,90E-04	Malc 3	0,001	0,36	31

Figura 8.6.3.2 - Sezioni di calcolo e risultati per i corpi acquiferi della parte meridionale del SIN ("sistema a doppia falda della Penisola della Chimica" – "Fusina" – "Malcontenta").

Facendo la media dei valori di portata ottenuti sulle diverse sezioni risulta:

Corpo acquifero	Q (l/s)	Q (m ³ /g)
San Marco	0,97	83,81
Isola Portuale	0,65	56,16
2 falde	0,31	26,78
Fusina	0,25	21,60
Malcontenta	0,33	28,51
Totale corpi acquiferi	2,51	216,86

Da un punto di vista metodologico è da osservare che la portata tra le sezioni individuate sullo stesso corpo sabbioso, in assenza di input ed output dal sistema, dovrebbe mantenersi costante. Il fatto che ci siano delle variazioni (peraltro modeste) tra le varie sezioni è dovuto al fatto che sulle varie sezioni dello stesso corpo acquifero si sono assunti valori sia di permeabilità che di gradiente idraulico costanti.

Nel complesso per tutti i corpi sabbiosi si hanno portate tendenti a zero. Questo è legato principalmente ai bassi valori di gradiente idraulico.

Al fine di meglio esplicitare il significato dei valori riportati nei paragrafi precedenti, viene fatto un confronto tra diverse situazioni idrogeologiche, utilizzando come parametro la portata.

Il confronto è riportato nella seguente tabella.

DATO	Fonte	Portata (l/s)
Acquifero di importanza regionale: acquifero non confinato dell'alta pianura tra Brenta e Dese – solo portata in uscita superficiale (esclusa quindi la ricarica degli acquiferi confinati – peraltro di importanza acquedottistica)	DAL PRA' A., ANTONELLI R. (1980) - <i>Restituzione freatica ai fontanili nell'alta pianura veneta, tra il fiume Piave e i Monti Lessini</i> . Quad. Ist. Ric. sulle Acque, LI (1). DAL PRA' A. (1983) - <i>Carta idrogeologica dell'alta pianura veneta</i> . Ist. Geol. Univ. Padova.	11600
Singolo pozzo di acquedotto del veneziano (portata riferita ai più importanti pozzi di VESTA ed ACM)	Piano d'ambito AATO Laguna di Venezia	100
Portata calcolata, da Modello MAV, come recapito in Laguna di Venezia degli acquiferi della pianura retrostante	MAV- CVN – Technital (aprile 2007) - <i>Modello interpretativo della dinamica degli acquiferi nella zona di Porto Marghera (VE) – simulazioni matematiche di verifica e di studio</i>	6,3
Portata calcolata da Modello sulla macroisola prima zona industriale (per dimensionamento sistema "pump and treat")	Thetis, Consorzio Venezia Ricerche, VESTA, Sinergeo (2005) - <i>Progetto di bonifica delle falde superficiali della macroisola "Prima Zona Industriale" di Porto Marghera</i>	2,8
Portata calcolata per il maggiormente trasmissivo dei quattro principali corpi idrici individuati nel SIN (in condizioni cautelative, considerando per il gradiente idraulico un valore dell'uno per mille)	Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera (Regione Veneto – Provincia di Venezia Servizio Geologico)	1

Diagrammando i dati risulta:

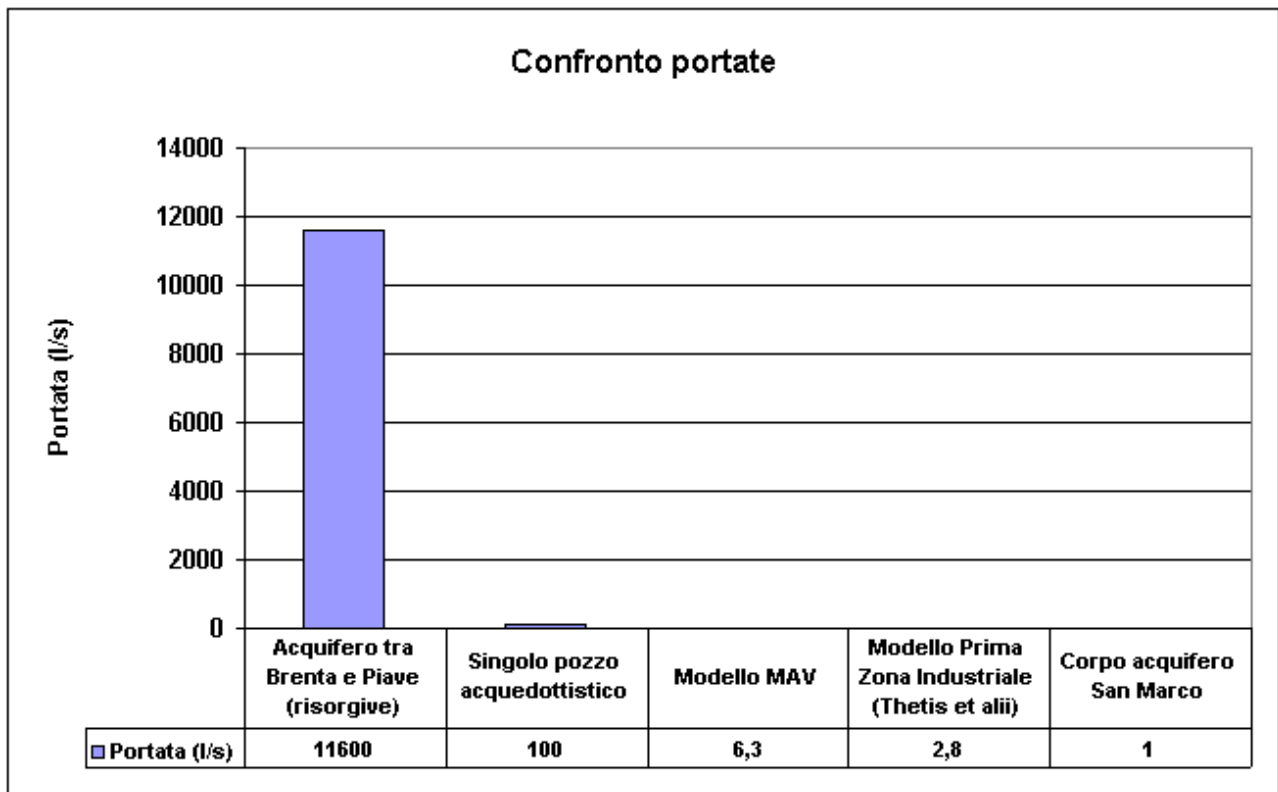


Figura 8.6.3.3 - Confronto delle portate misurate sui corpi sabbiosi del SIN con alcuni dati idrogeologici di bibliografia.

Lo stesso dato, per maggior chiarezza, viene riportato in scala logaritmica

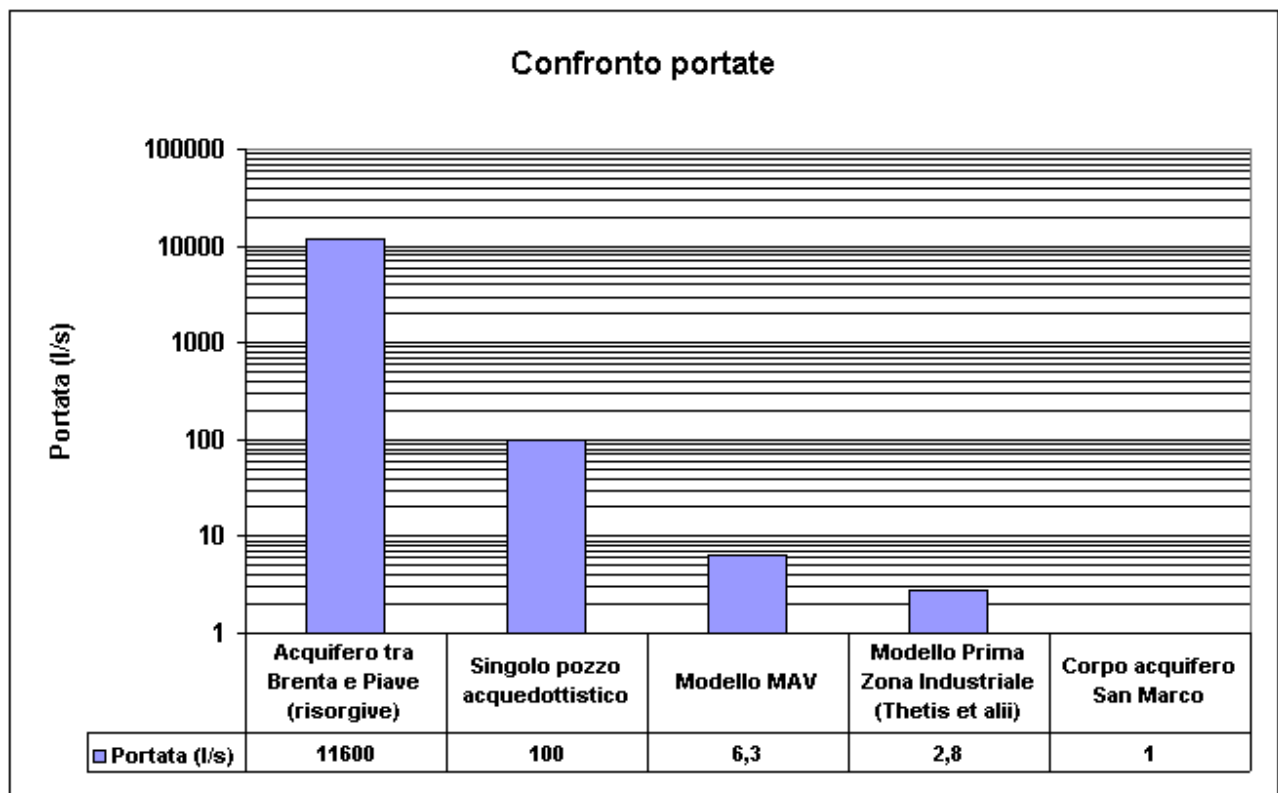


Figura 8.6.3.4 - Confronto delle portate misurate sui corpi sabbiosi del SIN con alcuni dati idrogeologici di bibliografia. (Diagramma in scala logaritmica).

Si evidenzia dal confronto come i dati di portata degli acquiferi presenti nel SIN abbiano portate modestissime.

In pratica anche sommando le portate di tutti i corpi acquiferi si ha una portata complessiva è di qualche l/s. Questa portata, che a scala d'area appare scarsamente significativa, è coerente con quella ottenuta da studi precedenti¹⁶ svolti per lo più su porzioni del SIN.

8.6.4 Altri contributi al flusso idrico sotterraneo

Nel paragrafo dedicato alla piezometria si è evidenziato che nella Penisola della Chimica ci sono livelli piezometrici "anomali" superiori di anche un metro rispetto al livello medio del mare. Questo, come affermato da studi del MAV e delle aziende, può indurre flussi "locali" (ovvero alla scala della Penisola della Chimica), non considerati nei calcoli fatti al paragrafo precedente che si basano su un gradiente medio.

Si tratta di un contributo, che studi precedenti quantificano in pochi litri al secondo. Il modello realizzato dal prof. Francani per le aziende coinsediate nella Penisola della Chimica (che tra gli studi esistenti è quello che indica i valori più alti) lo calcola compreso tra 6 e 9 l/s. Tale portata è attualmente alimentante i sistemi di drenaggio presenti nella Penisola della Chimica (vasca TOC e pozzi/piezometri di emungimento).

Come già discusso nei paragrafi precedenti questa anomalia locale può essere legata a risalite da pozzi artesiani ("ipotesi MAV") o, in considerazione del quadro geologico ricostruito da questo studio, in tutto o in parte, da interconnessioni geologiche con i livelli acquiferi più profondi (in letteratura¹⁷ definiti "semiconfinati").

8.6.5 Confronto con le portate estratte dal sistema

Si è già più volte citato il fatto che sono attivi, in varie parti del SIN, sistemi di drenaggio legati ad interventi di messa in sicurezza e bonifica.

In relazione ai dati forniti mensilmente dalle aziende in base alla DGRV 4552/2004 è possibile confrontare i valori di portata valutati a scala di SIN con le portate estratte dal sottosuolo.

A tale scopo si sono elaborati i dati suddividendoli, anche in questo caso, per corpo acquifero ed escludendo le portate prelevate dal "riporto".

I dati sono riportati di seguito, in confronto alla portata valutata nei paragrafi precedenti.

Corpo acquifero	Portata acquifero (l/s)	Portata estratta (l/s)
San Marco	0,97	3,17
Isola Portuale	0,65	0,33
2 falde	0,31	4,32
Fusina	0,25	
Malcontenta	0,33	0,40

¹⁶ Si citano a titolo di esempio il modello idrogeologico eseguito dal Prof. Francani per la Penisola della Chimica (*"Modellazione matematica a supporto della progettazione degli interventi per il drenaggio delle acque di falda"* Syndial e società coinsediate. Prof. V. Francani e Geol. Luca Alberti. 2005), al modello matematico realizzato dal MAV (*"Modello interpretativo della dinamica degli acquiferi nella zona di Porto Marghera (VE) – simulazioni matematiche di verifica e di studio"* Aprile 2007) ed allo studio di Thetis et alii per la prima zona industriale (*"Progetto di bonifica delle falde superficiali della macroisola "prima zona industriale" di Porto Marghera"*. 2005).

¹⁷ Si veda, ad esempio, la recente (2007) sintesi riportata dalle note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 128 Venezia.

Gli stessi dati sono diagrammati sul seguente istogramma.

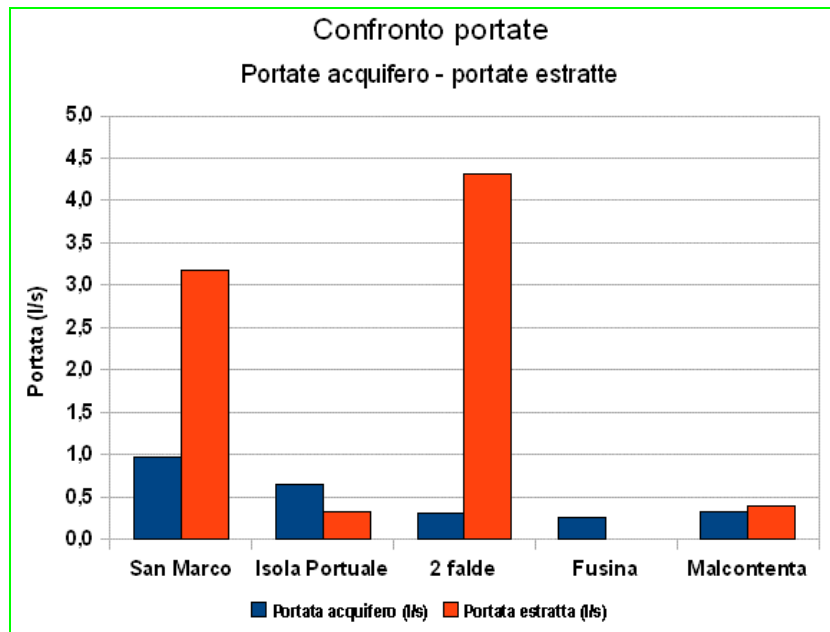


Figura 8.6.5.1 - Confronto delle portate stimate per ciascun corpi sabbiosi del SIN con i prelievi in atto per messe in sicurezza e bonifica.

Si desume che le portate estratte sono confrontabili ed in alcuni casi nettamente superiori alle portate calcolate sulle sezioni e che l'idrodinamica dei corpi acquiferi del SIN, attualmente, è profondamente modificata ed artificializzata.

In relazione a questo dato si sottolinea che:

1. il calcolo dei flussi effettuati nei paragrafi precedenti è riferito al SIN nel suo complesso e non tiene conto di "anomalie" locali quali quelle rilevate nella Penisola della Chimica
2. i sistemi di emungimento in funzione, impongono una piezometrica sensibilmente più bassa di quella naturale. Ciò comporta che l'acqua drenata derivi anche dall'immagazzinamento dell'acquifero.

Nel complesso comunque si conferma come le portate siano quantitativamente scarsamente significative, come evidenziato dalle figure 8.6.3.3 e 8.6.3.4.

8.6.6 Velocità media della falda

I parametri di permeabilità e gradiente sono utilizzabili anche per il calcolo della velocità effettiva, conoscendo la porosità efficace.

Infatti (legge di Darcy):

$$v = k i / n_e$$

dove:

v = velocità (m/s)

k = permeabilità (m/s)

i = gradiente idraulico

n_e = porosità efficace (adimensionale)

La porosità efficace è un dato di difficile misura in acquiferi confinati. In funzione di studi pregressi sulla Pianura Veneziana e Trevigiana¹⁸ è stato posto pari a 0,12 per litotipi sabbiosi.

Utilizzando i valori già espressi per il calcolo dei flussi e considerando il citato valori di porosità efficace, si ottengono i seguenti valori di velocità.

Corpo acquifero	v media (m/giorno)	v media (m/anno)
San Marco	0,06	21,9
Isola Portuale	0,03	10,95
2 falde	0,02	7,3
Fusina	0,04	14,6
Malcontenta	0,02	7,3

In pratica quindi le acque sotterranee, nei corpi sabbiosi, si muovono con velocità estremamente basse (dai calcoli risultano tra i 2 ed i 6 centimetri/giorno) e la falda, a scala di area vasta, appare semistagnante.

I valori ottenuti, come d'altronde è obiettivo della presente indagine idrogeologica, sono calcolati come valori medi a scala di SIN. A scala locale possono essere presenti situazioni arealmente ridotte dove i gradienti idraulici possono essere temporaneamente maggiori e quindi permettere velocità localmente superiori (sempre comunque "basse"). E' il caso, per esempio, della fascia al limite con i canali industriali, dove, in relazione al regime di marea, il gradiente si può trovare alternativamente diretto verso l'entroterra o verso i canali industriali. In considerazione del periodo di marea (poco più di 6 ore tra il massimo ed il minimo) questo fenomeno interessa una fascia ristretta e quindi va affrontato a livello di singolo piano di caratterizzazione, più che a scala di SIN come nel presente studio.

Nel complesso quindi, in coerenza a quanto evidenziato relativamente alle piezometrie, la falda, a scala di SIN, risulta semistagnante.

¹⁸ Si fa riferimento in particolare a studi precedenti svolti dal Servizio Geologico della Provincia e di altri studi a cui la provincia ha contribuito con altri Enti (Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, AATO Laguna di Venezia, Dipartimento di Geologia e Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova...).

8.7 Distribuzione di altri parametri (cuneo salino)

Dopo aver analizzato i rapporti di interconnessione tra il regime piezometrico dei corpi acquiferi e quello di marea si è successivamente passati alla definizione della profondità e dell'estensione dell'intrusione salina. Infatti, almeno nelle zone più prossime alla costa, le acque dolci di falda sono sostenute alla base da acque salate di origine marina penetrate entroterra che danno origine al cuneo salino. Tale fenomeno crea al contatto tra l'acqua dolce e l'acqua salata una zona di transizione lungo la verticale nella quale il contenuto salino aumenta progressivamente con la profondità dai valori caratteristici dell'acqua dolce a quelli caratteristici dell'acqua salata.

La caratterizzazione dell'estensione dell'intrusione salina è stata condotta eseguendo una serie di logs, utilizzando una sonda multiparametrica Hydrolab, all'interno di 60 dei 92 piezometri monitorati nell'arco delle 4 campagne registrando in continuo i parametri temperatura, pH, potenziale redox, conducibilità, salinità ed ossigeno disciolto.

Tale attività era stata programmata allo scopo di verificare le condizioni di efficienza del piezometro preliminarmente all'esecuzione di misure per la parametrizzazione idrogeologica e monitoraggio. Ciò però è stata finalizzata anche ad una analisi del fenomeno di intrusione salina.

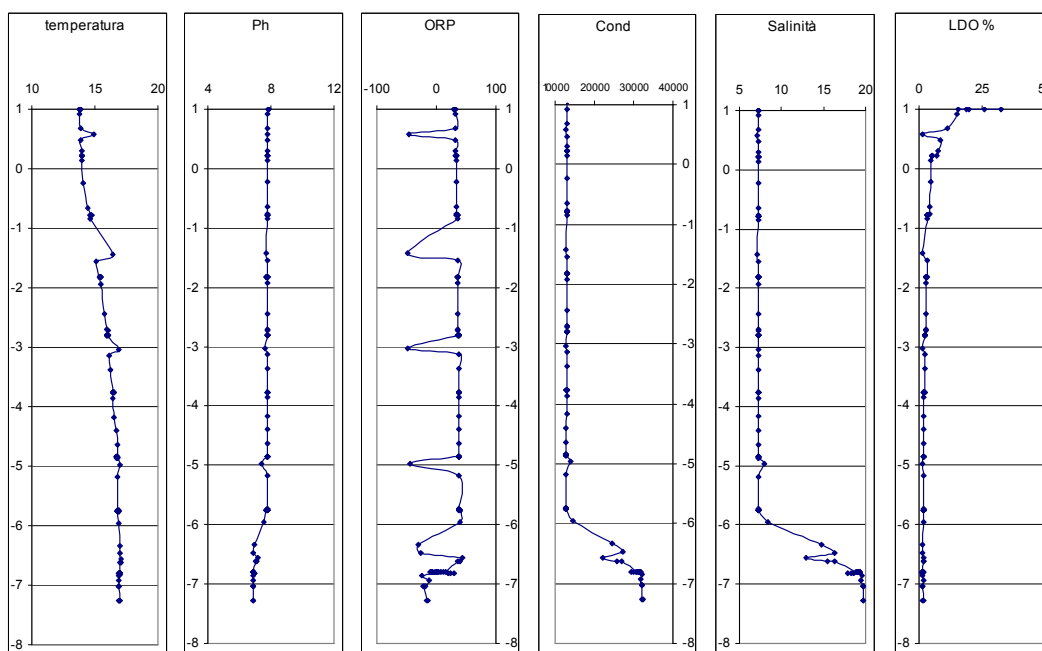


Figura 8.7.1 - Esempio di logs in foro per determinare l'estensione dell'intrusione salina.

Attraverso questi logs, utilizzando il parametro conducibilità, è stato possibile riconoscere la parte dell'acquifero permeata da acqua dolce, quella interessata dalla presenza della zona di transizione e, infine, l'inizio della parte di acquifero permeato dall'acqua salata di origine marina. La presenza delle 3 fasi (acqua dolce, zona di transizione, acqua salata) è in funzione del tratto fenestrato dei piezometri: infatti la presenza di acqua salata all'interno è possibile solamente nel caso in cui il tratto di filtro intercetti la zona di transizione del cuneo salino; viceversa nel caso di un piezometro fenestrato al di sopra della zona di transizione al suo interno si potrà riconoscere unicamente la parte di acquifero permeata da acqua dolce.

Successivamente, attraverso una trattazione geostatistica dei dati ricavati dai test in campagna, si è cercato di delimitare l'estensione del cuneo salino: allo scopo sono state ricostruite carte ad isoconduttive ad intervalli di profondità di 2 m a partire da -4 m s.l.m. Tenuto conto del limitato numero di piezometri profondi si è deciso di interpretare i dati solamente fino alla quota di -10 m s.l.m., infatti, per profondità maggiori, il ridotto numero di logs e la loro distribuzione disomogenea non permetteva una ricostruzione dettagliata dell'estensione del cuneo salino ma solamente una prima zonazione del fenomeno di intrusione salina.

Il tematismo riportato nelle pagine successive cartografa la distribuzione della intrusione salina.

L'analisi delle indagini ha fornito una visione globale del processo di intrusione salina in atto. In particolare si nota come le aree maggiormente interessate dal fenomeno siano quelle relative al Nuovo Petrolchimico, alla penisola dei Petroli e parte della macroarea Fusina. Di queste, quella in cui il processo di intrusione salina è più evidente, è senza alcun dubbio la macroarea Nuovo Petrolchimico. In questa macroarea la causa principale dell'estensione del cuneo salino è presumibilmente da ricercarsi nell'elevato numero di drenaggi attivi, i quali hanno un effetto di richiamo verso l'acqua salata che riesce a penetrare per rilevanti distanze.

Passando alla zona a Nord del S.I.N. non si notano problematiche di intrusione salina, ma bisogna ricordare, che in quest'area i piezometri presentano fenestrature fino a -8 m s.l.m. e che quindi l'intrusione potrebbe interessare strati più profondi. Questa ridotta profondità del tratto fenestrato non permette un'indagine precisa del fenomeno anche se ragionevolmente, analizzando i valori di conducibilità di piezometri profondi distribuiti in un intorno significativo, l'intrusione salina non sembra coinvolgere questo settore di Porto Marghera.



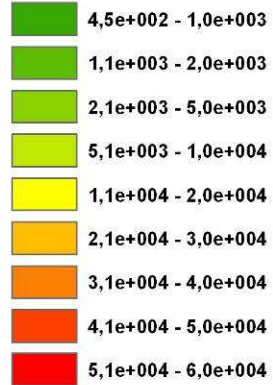
INDAGINE IDROGEOLOGICA
SULL'AREA DI PORTO MARGHERA
(Seconda Fase)

CONDUCIBILITA' ELETTRICA
PROFONDITA' - 4 M LMM

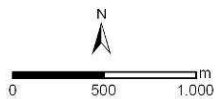
LEGENDA

cuneo salino -4m

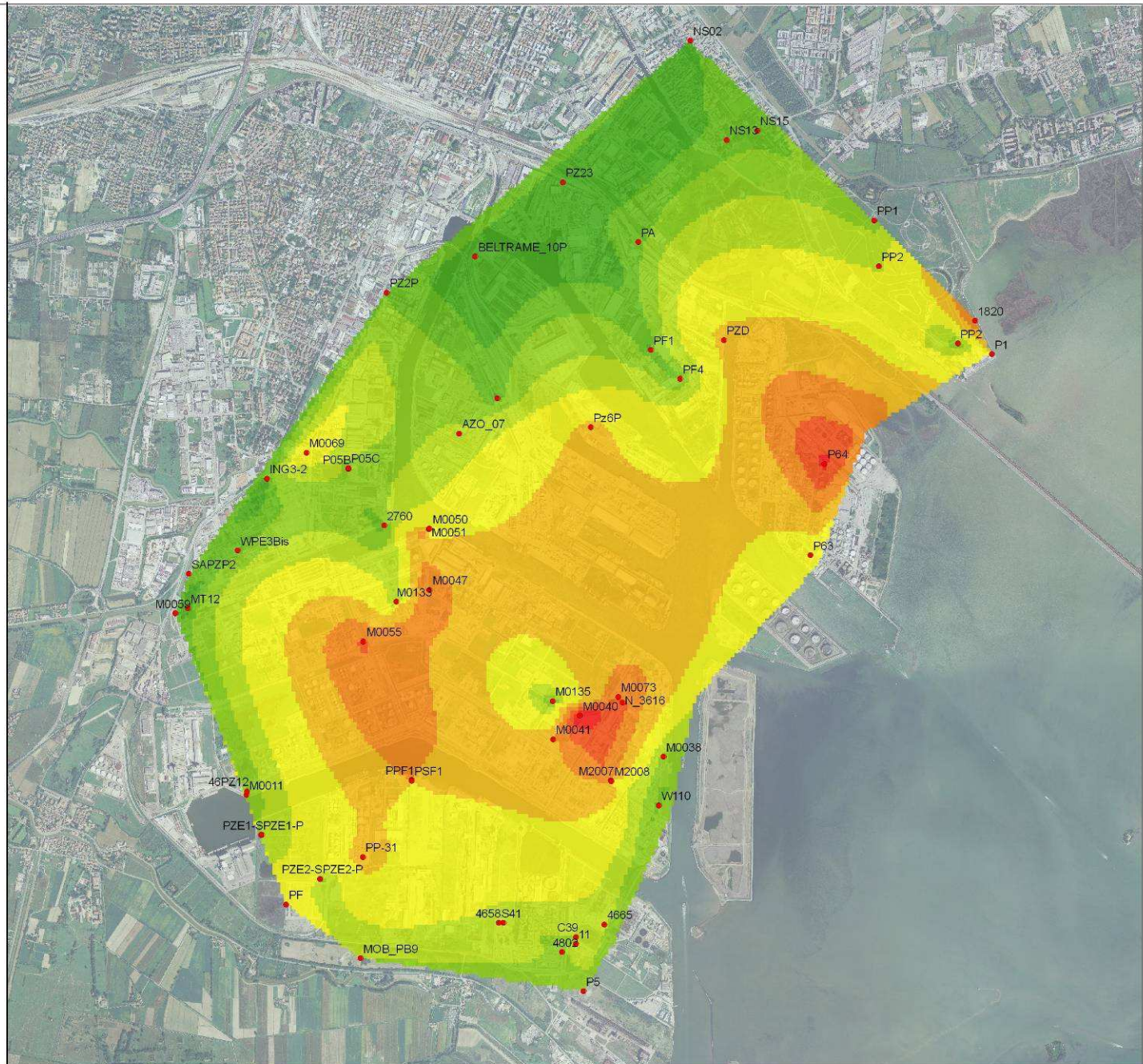
$\mu\text{S/cm}$



• piezometri -4m



versione ottobre 2008





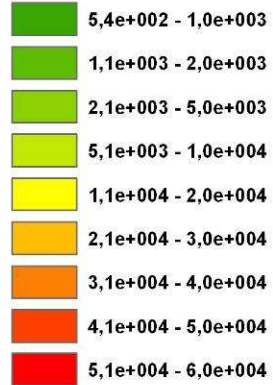
INDAGINE IDROGEOLOGICA
SULL'AREA DI PORTO MARGHERA
(Seconda Fase)

CONDUCIBILITA' ELETTRICA
PROFONDITA' - 6 M LMM

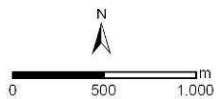
LEGENDA

cuneo salino -6m

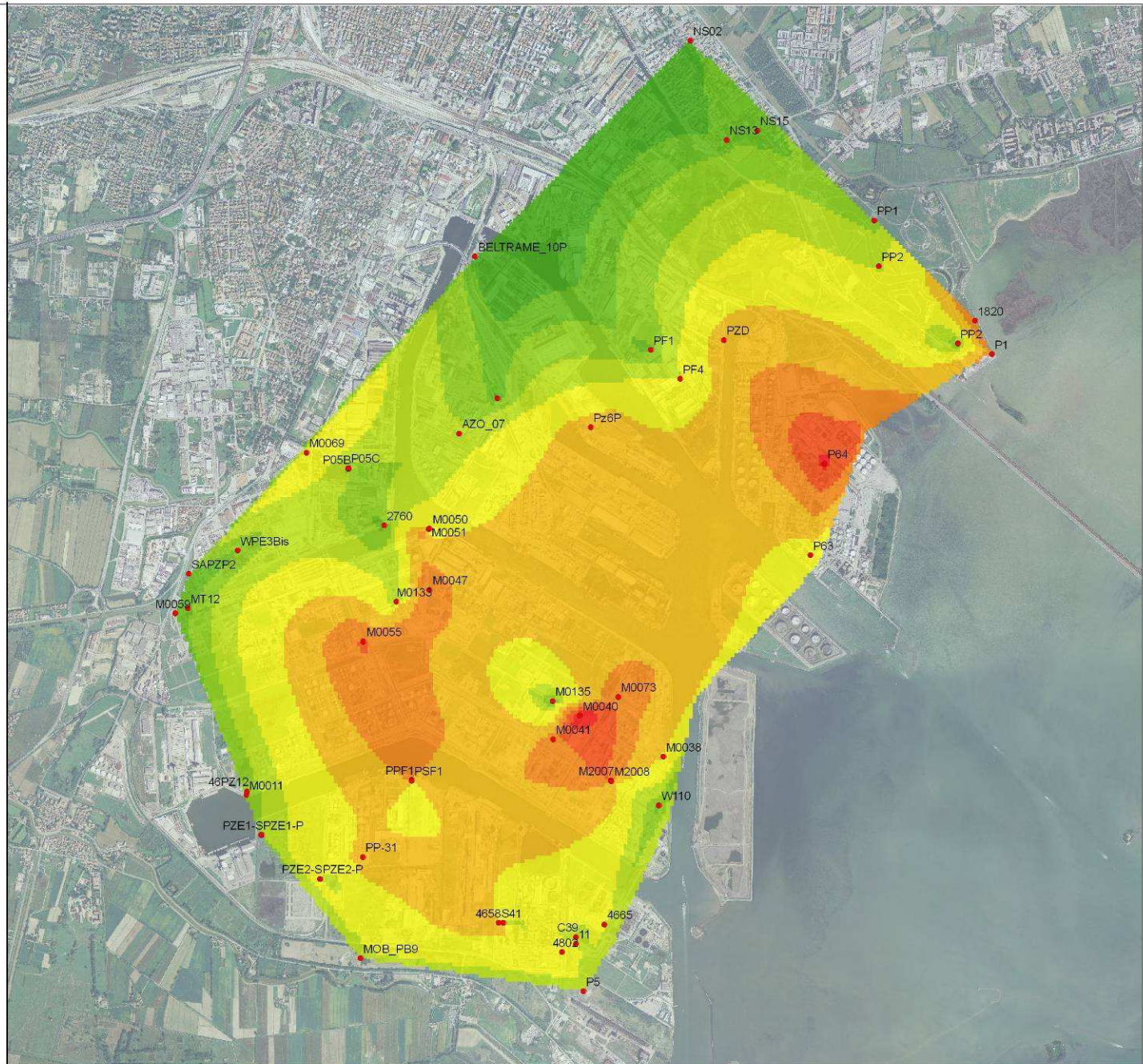
$\mu\text{S/cm}$



• piezometri -6m



versione ottobre 2008



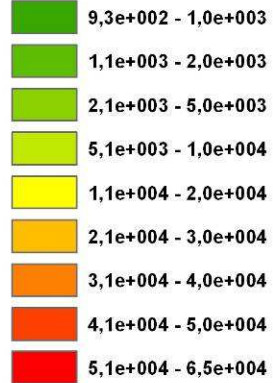
INDAGINE IDROGEOLOGICA
SULL'AREA DI PORTO MARGHERA
(Seconda Fase)

CONDUCIBILITA' ELETTRICA
PROFONDITA' - 8 M LMM

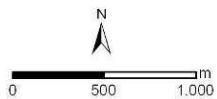
LEGENDA

cuneo salino -8m

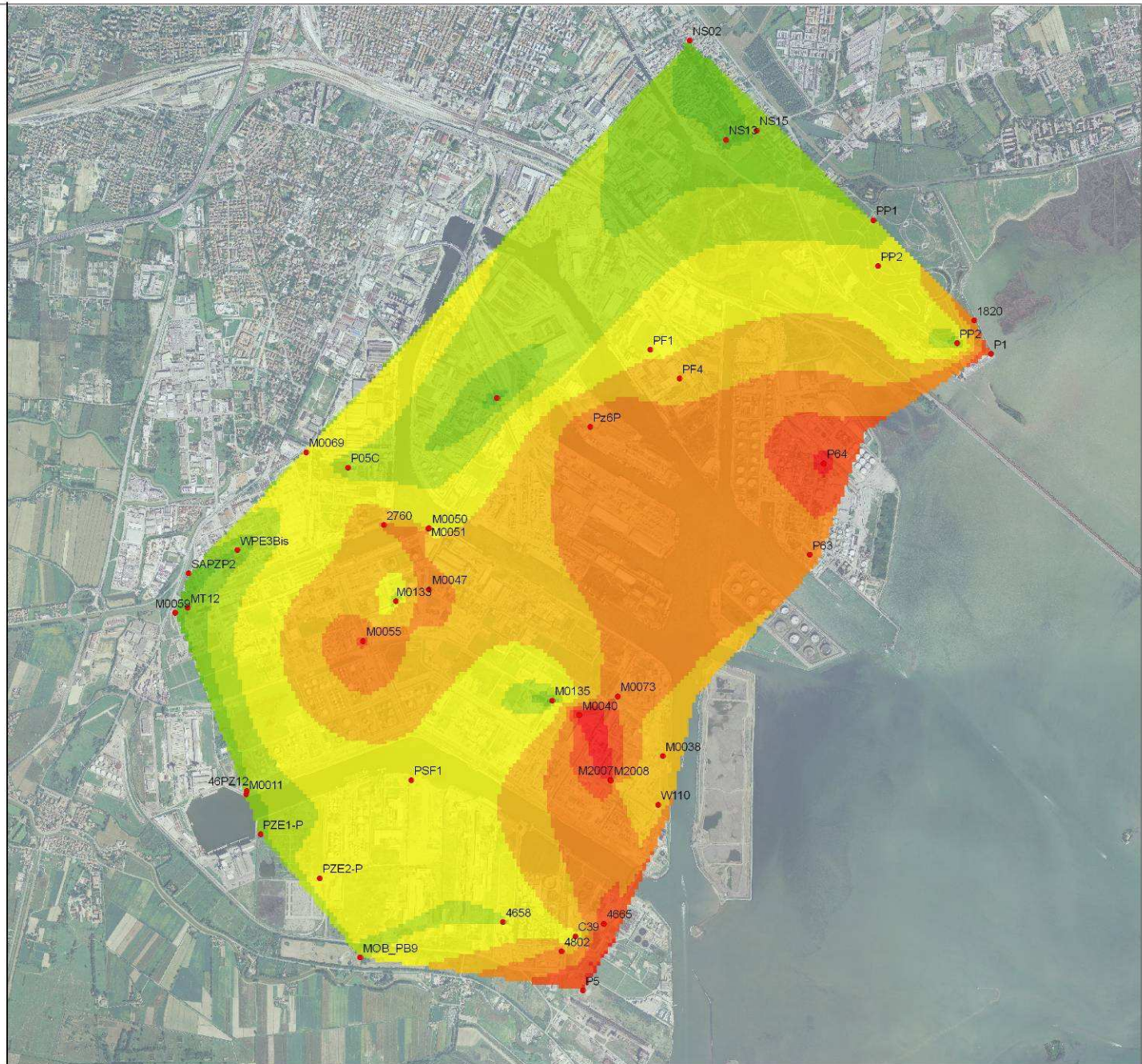
$\mu\text{S/cm}$



• piezometri -8m



versione ottobre 2008





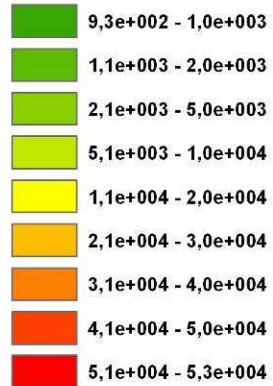
INDAGINE IDROGEOLOGICA
SULL'AREA DI PORTO MARGHERA
(Seconda Fase)

CONDUCIBILITA' ELETTRICA
PROFONDITA' - 10 M LMM

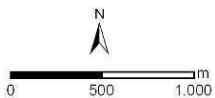
LEGENDA

cuneo salino -10m

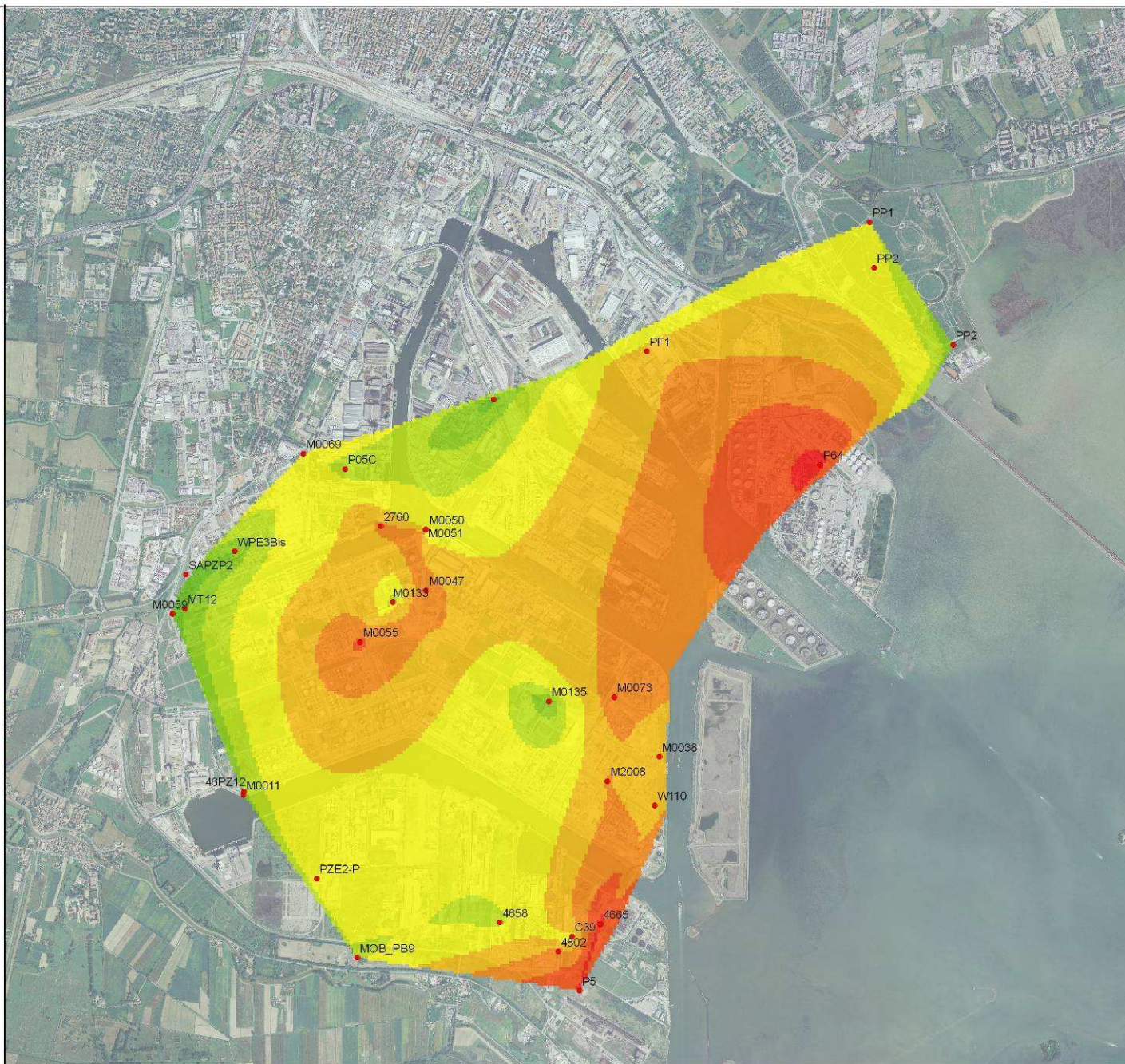
$\mu\text{S/cm}$



• piezometri -10m



versione ottobre 2008



8.8 Sintesi del modello concettuale idrogeologico

Nei due anni di attività della seconda fase della indagine idrogeologica di Porto Marghera, attraverso l'utilizzo di metodiche integrate di raccolta ed elaborazione dei dati, si è arrivati a fornire il modello concettuale idrogeologico dell'area di Porto Marghera.

Tale modello si basa su un numero eccezionalmente elevato di dati, e in particolare su rilievi e monitoraggi appositamente eseguiti in situ. Tutti i dati raccolti sono stati standardizzati ed informatizzati.

Durante la prima fase della indagine, conclusasi nel 2002, si era già messo in evidenza come l'idrogeologia dell'area si presentasse caratterizzata da complessità ed eterogeneità e che quindi non fosse schematizzabile in un modello semplice "a doppia falda".

Nell'ambito della seconda fase si è ricostruito questo quadro complesso ad elevata variabilità laterale, dove l'elemento dominante è dato da una serie di corpi sabbiosi anastomizzati allungati in senso Ovest-Est che rappresentano i principali corpi acquiferi, in quanto caratterizzati dai più elevati valori di trasmissività. Nelle parti dove i corpi sabbiosi sono assenti o tendono a chiudersi si ha una netta prevalenza di sedimenti fini (argille e limi).

Nella Penisola della Chimica si è inoltre riscontrato un sistema idrogeologico caratterizzato da due acquiferi confinati sovrapposti, coincidente con il modello concettuale proposto dal Master Plan. Al di fuori di quest'area, tale modello non è più valido.

In sintesi i principali acquiferi sono quindi rappresentati da due corpi sabbiosi tra loro interconnessi nella parte nord (identificati come "San Marco" e "Area Portuale") e da due corpi sabbiosi posti nella parte sud (identificati come "Fusina" e "Malcontenta"); quest'ultimi si connettono con il sistema a doppia falda presente nella Penisola della Chimica.

Tale situazione è sintetizzata dalla seguente Figura ripresa dal paragrafo

In estrema sintesi il quadro idrogeologico di riferimento può essere così schematizzato:

- si sono distinte 7 **differenti "sequenze idro-stratigrafiche tipo"**. Rilevante è la sequenza, caratterizzata da spessori continui di oltre 10-20 metri di sabbia; nel SIN si riconoscono almeno **4 corpi acquiferi sabbiosi allungati da Ovest verso Est** (parzialmente connessi) ed un corpo acquifero a "doppia falda". Rilevanti sono inoltre alcune aree a pressoché totale sedimentazione fine;
- **la permeabilità** dei principali corpi acquiferi ha valori tipici (mediani) compresi tra $3 \cdot 10^{-5}$ e $1 \cdot 10^{-4}$ m/s
- il conseguente quadro idrogeologico è dato dalla **presenza giustapposta di aree con "acquiferi" ed "aquicludi" a trasmissività nettamente differenziata**. I principali corpi sedimentari sabbiosi possono avere valori di trasmissività di 2-3 ordini di grandezza superiori rispetto a quelli a bassa trasmissività. Ovvero si passa da trasmissività dell'ordine di 10^{-3} - 10^{-4} m²/s a valori 10^{-6} m²/s. Ciò significa che a parità di gradiente idraulico si può teoricamente avere un flusso idrico sotterraneo con portate di 100-1000 volte superiori nei principali corpi sabbiosi, rispetto ai corpi circostanti;
- le **piezometrie** medie sono generalmente comprese tra 0 e +1 m s.l.m. ed il valore medio subisce variazioni modestissime nel tempo; esse sono deformate da drenaggi artificiali in varie parti del SIN. In generale la piezometria è "governabile" da sistemi di drenaggio anche di limitata entità;
- il **regime piezometrico** all'interno del SIN è influenzata principalmente dalle maree, ma anche da altri fattori:

- la falda oscilla in sintonia con le variazioni della marea, con sfasamenti variabili in funzione della distanza tra i punti monitorati ed i corpi acquiferi soprattutto in relazione alla sua trasmissività; anche l'ampiezza delle oscillazioni varia da pochi cm a diversi dm in funzione dell'ubicazione dei piezometri rispetto ai corpi acquiferi in virtù della loro trasmissività;
- il sistema acquifero risponde, nel breve periodo, anche agli eventi di pioggia nella parte più di entroterra (corpo di viale San Marco);
 - i **gradienti idraulici risultano generalmente bassi o nulli** (inferiori al uno per mille) e costanti nel tempo, se filtrati delle oscillazioni di marea e dei fattori antropici (emungimenti);
 - in relazione al gradiente basso/nulla **le velocità ed i flussi idrici sotterranei** tendono ad essere bassi nulli anch'essi. Il flusso idrico sotterraneo per ciascuno dei corpi sabbiosi è stato valutato dell'ordine di un litro al secondo nella direzione regionale (NW – SE), ovvero una quantità insignificante rispetto agli acquiferi presenti in altre parti del Veneto; tale flusso irrisorio risulta spesso condizionato e a volte invertito sia dalla marea che da fattori antropici;
 - nel SIN è anche localmente presente una “falda effimera” che impregna i materiali superficiali di riporto (“**acqua di impregnazione nel riporto**”), su cui la “indagine idrogeologica” non ha eseguito approfondimenti di dettaglio dato il suo scarso/nulla significato idrogeologico a scala di area vasta;
 - nella prima fase della “Indagine idrogeologica” era stata fatta l'archiviazione, standardizzazione ed elaborazione dei dati idrochimici disponibili. Nella seconda fase questa attività non è stata prevista. Si è però ricostruito il **quadro di riferimento per valutare l'entità delle concentrazioni di “origine geologica”** (alluminio, arsenico, ferro, manganese, ammoniaca... che sono diffusi in modo pressoché continuo nell'intera media e bassa pianura veneta) in continuità con gli studi idrogeologici a scala provinciale su questo tema, svolti già dall'inizio degli anni '90, dalla Provincia di Venezia.

9. PRINCIPALI RICADUTE DELL'INDAGINE IDROGEOLOGICA

9.1 L'indagine idrogeologica come strumento alla base delle scelte sul SIN di Porto Marghera

L'indagine idrogeologica, secondo il piano di lavoro approvato, ha come principale obiettivo quello di fornire il quadro di riferimento geologico ed idrogeologico dell'area di Porto Marghera.

Ciò ovviamente è utilizzabile anche per altri scopi e ha svariate ricadute applicative.

Nel piano di lavoro e nel corso dei tavoli tecnici (ed in particolare nel primo in cui si sono dettagliati ed approvati gli obiettivi) si sono focalizzati come principali temi a cui deve relazionarsi l'indagine idrogeologica:

- l'effetto di interventi a scala di area (marginamenti, retromarginamenti ...);
- l'analisi delle concentrazioni di "origine geologica" di metalli nelle acque (fondo naturale);
- la progettazione degli interventi di bonifica (con particolare riferimento a quelli delle acque sotterranee).

Nella situazione attuale si ritiene vada sottolineata anche la stretta relazione che deve avere la indagine idrogeologica con la revisione del Master Plan che non può che partire dalla disponibilità di un aggiornato modello geologico ed idrogeologico e dalla disponibilità di un gruppo di lavoro che ha acquisito specifica esperienza sul sito.

Più in generale si ribadisce che la disponibilità della indagine idrogeologica è uno strumento di diretta applicazione a qualsiasi tematica che coinvolge la geologia e l'idrogeologia di Porto Marghera.

9.2 Effetto di interventi a scala di area (marginamenti, retromarginamenti ...) sull'ambiente geologico ed idrogeologico e loro valutazione ambientale in un'ottica costi/benefici

La documentazione prodotta e l'esperienza pluriennale del gruppo di lavoro del Servizio Geologico provinciale si applicano principalmente a:

- valutazione impatti delle opere sull'ambiente;
- valutazione costi-benefici delle diverse alternative di intervento;
- progettazione del monitoraggio idrogeologico degli interventi.

Si osserva che la base dati realizzata è adeguata a poter effettuare tali valutazioni.

Sono anche stati messi a punto specifiche elaborazioni relative alla ricostruzione geologica tridimensionale del sottosuolo, utilizzabili anche tramite un "plug-in" che ne permette la visione secondo diversi punti di vista, la rotazione, la sezione, lo zoom ed altre operazioni. Ciò faciliterà l'utilizzabilità di queste elaborazioni.

9.3 Analisi delle concentrazioni di "origine geologica" nelle acque (fondo naturale) e quadro geologico di riferimento

E' nota da tempo la presenza di sostanze ed elementi (Al, As, Fe, Mn, NH₄) presenti in acquiferi confinati per "origine geologica", corrispondenti allo "stato naturale particolare" del previgente D.Lgs. 152/1999.

Il tema è affrontato in vari testi scientifici e dal Piano di Tutela delle Acque redatto dalla Regione Veneto in ottemperanza al D.Lgs. 152/1999 (ora sostituito dal D.Lgs. 152/2006).

La presenza di tali sostanze viene normalmente messa in relazione a condizioni riducenti negli acquiferi e, in particolare, nel caso dell'ammoniaca, alla presenza di torbe ed argille organiche. Tale forma di "contaminazione" è distribuita a "macchia di leopardo" secondo meccanismi, di fatto, ancora poco approfonditi.

Dando per assodata, sulla base degli studi esistenti, l'origine geologica di tali concentrazioni restano aperti alcuni temi importanti:

- Fino a quale livello di concentrazione i valori riscontrati sono da ritenersi esclusivamente "fondo naturale" e quando si inizia un apporto antropico ("contaminazione")?
- Qual è, per un definito acquifero in precise condizioni temporali, il "fondo naturale" e quali sono i parametri (pH, Redox...) che ne influenzano principalmente la variabilità?

Questi temi per essere affrontati correttamente necessitano della propedeutica definizione del modello concettuale geologico ed idrogeologico degli acquiferi. Tale modello per il sito di Porto Marghera è rappresentato proprio dalla indagine idrogeologica.

Si tratta di un tema che è già stato trattato in vari lavori svolti dal Servizio Geologico provinciale anche in collaborazione con l'Università di Padova (Dipartimento di Geoscienze) ed i Consorzi di Bonifica. A titolo di esempio si citano i seguenti lavori:

- Indagine idrogeologica del territorio provinciale (1992-2000)
- Approfondimento idrogeologico sull'area del portogruarese (con Consorzio di Bonifica – 2000-2002)
- Progetto Bilancio idrogeologico area idropotabile con AATO Laguna di Venezia (AATO – Dipartimento di Geologia – Università di Padova) (2006 in atto)
- Progetto IDRO (Provincia Dipartimento di Geologia – Università di Padova) (2008 in atto)

In relazione alla indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera il Servizio Geologico provinciale ha predisposto uno specifico piano di lavoro per lo studio del fondo naturale nella parte centrale della Provincia e sul sito di Porto Marghera. Tale piano di lavoro è stato consegnato nel gennaio 2007 (rev.02) alla Regione Veneto (su richiesta della stessa) e le sue linee guida discusse preliminarmente in un tavolo tecnico in data 5 novembre 2007.

9.4 Progettazione degli interventi di bonifica a diversa scala (con particolare riferimento a quelli delle acque sotterranee)

Tra gli obiettivi posti all'indagine idrogeologica vi è specificatamente quello di permettere che tutti i progetti sul sito possano riferirsi ad un quadro geologico ed idrogeologico di riferimento di area vasta, che permetta di interpretare correttamente i dati a scala locale e conseguentemente permetta una corretta progettazione.

Si tratta di un elemento di estrema utilità sia per gli interventi di soggetti pubblici sia privati; per tale motivo è di fondamentale importanza che l'indagine idrogeologica venga divulgata al di fuori degli enti che hanno partecipato al Tavolo Tecnico.

E' bene precisare che la disponibilità di un quadro geologico ed idrogeologico a scala di SIN, non modifica la totale responsabilità degli estensori delle relazioni geologiche e dei progettisti relativamente al “*conseguente livello di pericolosità geologica e il comportamento in assenza ed in presenza delle opere*” richiesto dalla normativa vigente in tema di relazioni geologiche.

9.5 Revisione del Master Plan per la bonifica dei siti inquinati di Porto Marghera

E' attualmente in fase di revisione il “Master Plan per la bonifica dei siti inquinati di Porto Marghera”, redatto ai sensi dell'Atto Integrativo dell'Accordo di Programma per la Chimica di Porto Marghera (d.p.c.m. 15/11/2001) ed approvato dalla Conferenza di Servizi dell'Accordo del 22/04/2004.

La documentazione prodotta e l'esperienza pluriennale del gruppo di lavoro dell'indagine idrogeologica di Porto Marghera rappresentano la base di due aspetti fondamentali della revisione in atto del Master Plan relativamente a:

- assetto geologico;
- assetto idrogeologico.

In relazione a tali aspetti, il gruppo di lavoro ha fornito, via via che le elaborazioni venivano svolte, il proprio supporto per il Master Plan ed in particolare al tema dei “retromarginamenti”.

Si ritiene indispensabile, al fine di una corretta valutazione delle scelte di piano in rapporto alle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sito, che tale contributo del Gruppo di lavoro prosegua nelle successive fasi di revisione del Master Plan.

9.6 Monitoraggio idrogeologico

Il piano di lavoro prevedeva la progettazione di una rete di monitoraggio.

I criteri per la definizione della rete di monitoraggio sono stati formulati nel rapporto finale della prima fase (*Parte d - Rete di monitoraggio delle acque sotterranee*), a cui si rimanda.

Nell'ambito dei lavori si è svolta una selezione di piezometri da utilizzare per il monitoraggio. Inoltre sono stati costruiti 7 nuovi piezometri “profondi”, anche essi sottoposti ad un primo breve monitoraggio con sonda multiparametrica.

In relazione alla attività già svolta e considerando che l'aspetto del monitoraggio della piezometria riveste particolare importanza in relazione alla valutazione ed al controllo degli interventi a scala di area vasta, si propone di mantenere in funzione, come rete “minima”, i piezometri già sotto controllo.

Il monitoraggio è attualmente svolto dal Servizio Geologico della Provincia di Venezia.

10. CONCLUSIONI

La seconda fase della Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera è stata svolta dalla Provincia di Venezia in adempimento a quanto stabilito da specifiche delibere regionali e delle previsioni del Master Plan. L'indagine è stata supportata da un Tavolo Tecnico, comprendente gli Enti competenti sull'area, ed ha portato alla definizione del quadro geologico ed idrogeologico di area vasta del SIN di Venezia Porto-Marghera, nonché al suo inserimento nel più ampio quadro geologico a scala provinciale.

Il lavoro ha portato alla definizione della struttura tridimensionale del sottosuolo, alla individuazione dei principali corpi acquiferi e dei loro rapporti geometrici, alla localizzazione dei principali livelli impermeabili, alla parametrizzazione degli acquiferi ed alla definizione quantitativa della loro idrodinamica.

I risultati presentano importanti elementi di novità. Infatti il Master Plan, sulla base dei dati disponibili all'epoca della sua redazione, indicava per il SIN un modello idrogeologico a doppia falda (due acquiferi confinati sovrapposti), in quanto tale struttura si evidenziava nell'area del Penisola della Chimica. I dati al di fuori di quest'area erano al tempo piuttosto limitati, anche se i risultati della prima fase dell'Indagine idrogeologica indicavano una probabile non estendibilità di tale modello. Il lavoro svolto ha evidenziato che le rimanenti parti del SIN non sono rappresentabili secondo tale schematizzazione.

Caratteristica peculiare dell'idrogeologia a scala di SIN è la presenza di 4 importanti corpi sabbiosi, allungati in senso Ovest-Est, in collegamento con le strutture geologiche presenti a monte, spessi anche oltre 20 metri e larghi anche oltre 1 km. Nella parte mediana del SIN sono separati da un'area il cui sottosuolo è caratterizzato da una netta prevalenza di sedimenti a bassa permeabilità (aquicludi – aquitardi). In una parte della Penisola della Chimica si conferma la presenza di un acquifero a “doppia falda” (prima falda e seconda falda separati da un aquicludo-aquitardo).

I corpi sabbiosi, legati alla dinamica deposizionale del Pleistocene, costituiscono i principali acquiferi; essendo generalmente sovrastati da litotipi a bassa permeabilità risultano confinati, tranne che nella parte più a Nord del SIN.

Gli acquiferi sono caratterizzati da trasmissività mediana di $5 \cdot 10^{-4}$ m²/s e da un gradiente quasi nullo. Ciò comporta che le falde siano semistagnanti (velocità di pochi centimetri al giorno).

Il quadro ricostruito rappresenta il modello concettuale di riferimento per il SIN e adesso andranno riferite le valutazioni, in un'ottica costi-benefici, degli interventi a scala vasta, nonché futuri approfondimenti (ad es. sul “fondo naturale”) di carattere tecnico-scientifico e/o monitoraggi.

Il lavoro rappresenta anche il quadro d'area a cui andranno riferiti i singoli interventi di caratterizzazione e bonifica.

Si segnala inoltre che l'attività svolta è stata occasione per sperimentare e tarare specifiche metodologie di indagine idrogeologica sull'area. L'esperienza e la competenza maturata dal gruppo di lavoro costituito dal Servizio Geologico della Provincia di Venezia rappresenta quindi un supporto che potrà essere utilizzato per

affrontare le tematiche progettuali e gestionali che nel tempo si porranno in un'area strategica quale Venezia-Porto Marghera.

Infine, nell'ottica della revisione del Master Plan (attualmente in corso), si dispone di un riferimento, a scala di SIN, che rappresenta un'indispensabile base di conoscenze che andrà valorizzata nella ridefinizione degli obiettivi e delle strategie di piano.